



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS PENGARUH *COOLING RATE* PADA PROSES  
*QUENCHING* MATERIAL ASTM A36 AKIBAT KEBAKARAN  
KAPAL TERHADAP NILAI KEKUATAN, KEKERASAN DAN  
STRUKTUR MIKRONYA**

STEVANUS ARIE NUGROHO S.  
NRP. 4112 100 007

Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

---

## **TUGAS AKHIR - MN141581**

# **ANALISIS PENGARUH *COOLING RATE* PADA PROSES *QUENCHING* MATERIAL ASTM A36 AKIBAT KEBAKARAN KAPAL TERHADAP NILAI KEKUATAN, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRONYA**

STEVANUS ARIE NUGROHO S.  
NRP. 4112 100 007

Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



---

## **FINAL PROJECT - MN141581**

# **ANALYSIS COOLING RATE ASTM A36 ON QUENCHING PROCESS DUE TO FIRE ON SHIP EFFECT ON VALUE OF STRENGTH, HARDNESS AND MICROSTURCTURE**

**STEVANUS ARIE NUGROHO S.**  
**NRP. 4112 100 007**

**Supervisor**  
**Totok Yulianto, S.T., M.T.**  
**Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING**  
**Faculty of Marine Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS PENGARUH *COOLING RATE* PADA PROSES *QUENCHING* MATERIAL ASTM A36 AKIBAT KEBAKARAN KAPAL TERHADAP NILAI KEKUATAN, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRONYA

## TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

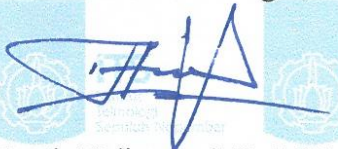
Oleh:

**STEVANUS ARIE NUGROHO S.**

NRP. 4112 100 007

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing 1,



Totok Yulianto, S.T., M.T.

NIP. 19700731 199512 1 001



Dosen Pembimbing 2,



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

NIP. 19840921 201212 2 001



## LEMBAR REVISI

# ANALISIS PENGARUH COOLING RATE PADA PROSES QUENCHING MATERIAL ASTM A36 AKIBAT KEBAKARAN KAPAL TERHADAP NILAI KEKUATAN, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRONYA

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 29 Juni 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**STEVANUS ARIE NUGROHO**

NRP. 4112 100 007

**Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:**

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M. Eng., Ph.D.

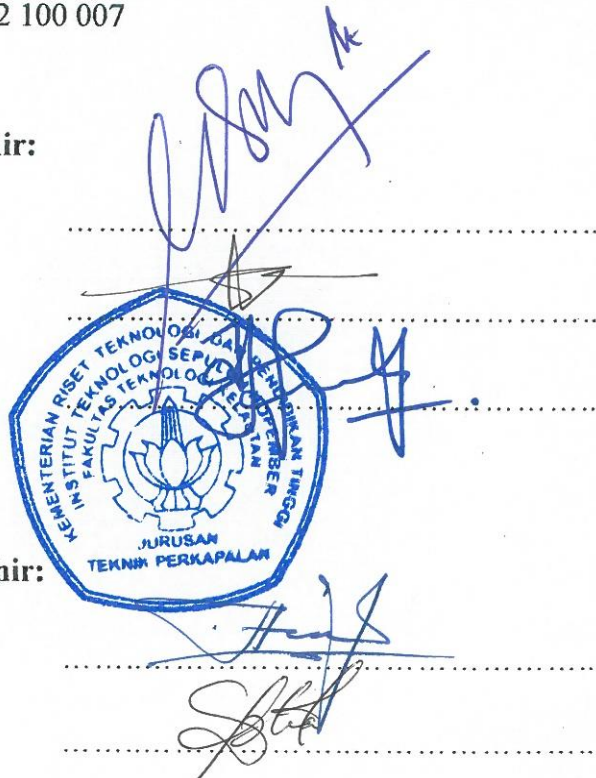
M. Nurul Misbach, S.T, M.T.

Imam Baihaqi, S.T., M.T.

**Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:**

Totok Yulianto, S.T., M.T.

Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.



SURABAYA, Juli 2016

*“I, the LORD, watch over it; I water it continually. I guard it day and night so that no one may harm it.”-Isaiah 27:3*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih karunia-Nya, Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh *Cooling Rate* Pada Proses *Quenching* Material ASTM A36 Akibat Kebakaran Kapal Terhadap Nilai Kekuatan, Kekerasan, dan Struktur Mikronya**” ini dapat selesai dengan baik. Tidak lupa, pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., dan Ibu Septia Hardy Sujatanti S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah berkenan meluangkan waktu, memotivasi dan membagikan ilmunya dalam membimbing pengerjaan Tugas Akhir;
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah mengizinkan penulis menggunakan fasilitas laboratorium selama pengerjaan Tugas Akhir;
3. Staff laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah membantu menggunakan fasilitas serta dengan sabar membimbing penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tak lupa penulis juga menyampaikan banyak terima kasih terhadap:

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember;
2. Keluarga dan kerabat yang penulis kasihi bapak Natalino Surentu, ibu Elly Yuliningtyas, Yosua Andre Purnomo, Nathanael Aditya, atas dukungan spiritual dan materiil.
3. Keluarga “kedua” penulis dalam persekutuan selama di Surabaya: Kelompok Kecil senior-junior, PMK ITS, BPH-team15/16, Pemasa F47, Andrew Gibson, dan Rossy Angelina Latuharhary;
4. Teman-teman seperjuangan tim Barunastra ITS atas ilmu dan kebersamaannya selama kuliah di ITS;
5. Teman-teman P-52 FORECASTLE, HIMATEKPAL, dan HYDROCLUB atas suka dan duka selama kuliah di Jurusan Teknik Perkapalan;
6. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Yang telah membantu memberikan dorongan spiritual dan materiil penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.



# **ANALISIS PENGARUH *COOLING RATE* PADA PROSES *QUENCHING* MATERIAL ASTM A36 AKIBAT KEBAKARAN KAPAL TERHADAP NILAI KEKUATAN, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRONYA**

Nama Mahasiswa : Stevanus Arie Nugroho S.  
NRP : 4112 100 007  
Jurusan/Fakultas : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Pemadaman api pada kasus kebakaran kapal biasanya menggunakan air laut. Proses pemadaman api menyerupai perlakuan panas dengan pendinginan cepat yaitu quenching. Quenching adalah salah satu perlakuan panas pada material dengan pendinginan dalam waktu yang singkat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju pendinginan cepat (quench) terhadap nilai kekuatan, kekerasan serta struktur mikro dari material dengan variasi waktu quenching 30,60 dan 90 menit serta variasi suhu 750°C, 850°C, dan 950°C untuk masing-masing perlakuan quenching. Hasil dari penelitian ini didapat, perbandingan antara material tanpa perlakuan dengan perlakuan memiliki nilai kuat tarik, kekerasan dan struktur yang berbeda. Diperoleh nilai kuat tarik berbanding lurus dengan nilai kekerasan namun beerbanding terbalik dengan diameter butir. Nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh plat dengan perlakuan suhu 850°C dan quenching 30 menit dengan masing-masing nilainya 587.51 MPa sedangkan nilai kuat tarik terendah dimiliki oleh plat tanpa perlakuan dengan nilai masing-masing 294.817 MPa. Plat dengan nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh plat dengan perlakuan suhu 950°C dan quenching 30 menit dengan nilai kekerasan 167.07HV dan nilai kekerasan terendah dimiliki oleh plat tanpa perlakuan dengan nilai 108.17HV. Plat tanpa perlakuan memiliki diameter butir terbesar yaitu 85.99  $\mu\text{m}$  dan plat dengan perlakuan suhu 950°C dan quenching 30 menit memiliki diameter besar butir 44.83  $\mu\text{m}$ . Tingginya kuat tarik plat dengan perlakuan suhu 850°C juga disebabkan karena jumlah persentase pearlite yang tinggi sebesar 64.56%.*

Kata kunci: ASTM A36, *Quenching*, laju pendinginan, uji tarik, uji kekerasan, struktur mikro

# **ANALYSIS COOLING RATE ASTM A36 ON QUENCHING PROCESS DUE TO FIRE ON SHIP EFFECT ON VALUE OF STRENGTH, HARDNESS AND MICROSTURCTURE**

Author : Stevanus Arie Nugroho S.  
ID No. : 4112 100 007  
Departmen/Faculty : Naval Architecture and Ship Building Engineering/  
Marine Technology  
Supervisor : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Extinguishing the fire case on ship usually use sea water. Extinguishing process resembles the heat treatment by rapid cooling is quenching. Quenching is a heat treatment of materials by cooling in a short time. This study was conducted to determine the effect of rapid cooling rate (quench) to the value of strength, hardness and microstructure of a material with a variation of 30.60 and a quenching time of 90 minutes and the temperature variation 750°C, 850°C, and 950°C for each treatment quenching. The results obtained from this study, a comparison between the material without treatment with treatment has a value of tensile strength, hardness and different structures. Tensile strength value obtained is directly proportional to the value of hardness but inversely proportional to the grain diameter. The highest tensile strength value owned by the plate with a temperature of 850°C and quenching treatment 30 minutes with each worth 587.51 MPa tensile strength while the lowest value owned by the plate without treatment with a value of 294 817 MPa respectively. Plates with the highest hardness value owned by the plate with a temperature of 950°C and quenching treatment 30 minutes with a hardness value 167.07 HV and lowest hardness values held by the plate without treatment with 108.17 HV value. Plates without treatment has the largest grain diameter is 85.99  $\mu\text{m}$  and a plate with a temperature of 950°C and quenching treatment 30 minutes have large grain diameter 44.83  $\mu\text{m}$ . The high tensile strength of the plate with a temperature of 850°C treatment due to high amount of pearlite percentage of 64.56%.

Keywords: ASTM A36, Quenching, Cooling rate, tensile test, hardness test, microstructure

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	1
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan.....	2
I.5 Manfaat.....	3
I.6 Hipotesis.....	3
I.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. STUDI LITERATUR .....	5
II.1 Dasar Teori.....	5
II.1.1 Baja .....	5
II.1.2 Sifat-Sifat Baja ASTM A36 dan Perlakuan Panas.....	6
II.1.3 Perlakuan Panas .....	7
II.1.4 Uji Tarik.....	8
II.1.5 Uji Kekerasan.....	10
II.1.6 Stuktur Mikro pada Baja.....	12
II.2 Tinjauan Pustaka .....	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....	19
III.1 Prosedur Umum.....	19
III.2 Diagram Alir .....	21
III.3 Bahan Penelitian.....	22
III.3.1 Material .....	22

III.3.2	Media Pendingin .....	22
III.4	Proses Perlakuan Panas dan Proses <i>Quenching</i> .....	22
III.4.1	Proses Perlakuan Panas .....	22
III.4.2	Proses <i>Quenching</i> .....	24
III.5	Pembuatan Spesimen .....	27
III.5.1	<i>Tensile Test</i> .....	27
III.5.2	<i>Hardness Test</i> .....	27
III.5.3	Analisis Struktur Mikro .....	29
BAB IV.	ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	33
IV.1	Analisa Pengujian Tarik .....	33
IV.1.1	Hasil pengujian tarik akibat pengaruh <i>cooling rate</i> .....	33
IV.1.2	Hasil Pengujian tarik akibat pengaruh suhu .....	37
IV.2	Analisa Pengujian Kekerasan .....	42
IV.2.1	Data hasil pengujian <i>hardness</i> akibat pengaruh <i>quenching</i> .....	42
IV.2.2	Data hasil pengujian <i>hardness</i> akibat pengaruh suhu .....	45
IV.3	Hasil Struktur Mikro .....	47
IV.3.1	Hasil Struktur Mikro Tanpa Perlakuan .....	48
IV.3.2	Hasil Struktur Mikro dengan Perlakuan <i>Quenching</i> .....	49
IV.4	Perhitungan Besar Butir .....	58
IV.4.1	Perhitungan Besar Diameter Butir akibat pengaruh <i>Quenching</i> .....	59
IV.4.2	Perhitungan Besar Diameter Butir Akibat pengaruh Suhu .....	61
IV.5	Analisa Hasil Keseluruhan Pengujian .....	63
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
V.1	Kesimpulan .....	67
V.2	Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA	.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik .....	9
Gambar II.2 Diagram Tegangan-Regangan .....	9
Gambar II.3 Diagram Keseimbangan Besi-Karbon .....	13
Gambar II.4 Struktur Mikro Baja Karbon.....	15
Gambar II.5 Diagram TTT <i>iron-carbon</i> .....	16
Gambar II.6 Hubungan Diagram TTT (garis tebal) dengan Diagram CTT (garis tipis) .....	17
Gambar II.7 Diagram CCT untuk baja karbon rendah dengan 0.2% C .....	17
Gambar III.1 Penyetelan suhu <i>oven</i> (a)750°C (b)850°C (c)950°C .....	24
Gambar III.2 Media pendigin air laut .....	24
Gambar III.3 Pengukuran Massa Air Laut sebesar 11 kg .....	25
Gambar III.4 Proses pengambilan plat.....	25
Gambar III.5 Material ASTM A36 yang diberi perlakuan <i>quenching</i> .....	26
Gambar III.6 Pengukuran suhu material .....	26
Gambar III.7 Dimensi Spesimen <i>Micro-hardness test</i> .....	28
Gambar III.8 Proses pemolesan untuk spesimen <i>hardness test</i> .....	29
Gambar III.9 Pengukuran diameter penekanan pada spesimen .....	29
Gambar III.10 Dimensi Spesimen struktur mikro.....	30
Gambar III.11 Foto mikro yang sudah dibagi menjadi 9 kotak besar .....	31
Gambar IV.1 Grafik pengujian tarik akibat variasi <i>quenching</i> pada suhu 750°C.....	33
Gambar IV.2 Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 750°C.....	34
Gambar IV.3 Grafik pengujian tarik akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 850°C....	35
Gambar IV.4 Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 850°C.....	36
Gambar IV.5 Grafik pengujian tarik akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 950°C....	36
Gambar IV.6 Grafik <i>elongation</i> akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 950°C.....	37
Gambar IV.7 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 30 menit.....	38
Gambar IV.8 Hasil <i>elongation</i> plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 30 menit.....	39
Gambar IV.9 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 60 menit.....	40
Gambar IV.10 Hasil <i>elongation</i> plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 60 menit.....	40
Gambar IV.11 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 90 menit.....	41
Gambar IV.12 Hasil <i>elongation</i> plat dengan perlakuan <i>quenching</i> 90 menit.....	42
Gambar IV.13 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 750°C .....	43
Gambar IV.14 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 850°C .....	43



Gambar IV.15 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 950°C .....	44
Gambar IV.16 Hasil <i>hardness testing</i> akibat pengaruh waktu <i>quenching</i> 30 menit.....	45
Gambar IV.17 Hasil <i>hardness testing</i> akibat pengaruh waktu <i>quenching</i> 60 menit.....	46
Gambar IV.18 Hasil <i>hardness testing</i> akibat pengaruh waktu <i>quenching</i> 90 menit.....	47
Gambar IV.19 Area plat dengan laju pendinginan (a) dibawah 2°C/det (b) diatas 2°C/det ....	48
Gambar IV.20 Struktur mikro pada plat nomor 1 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	49
Gambar IV.21 Struktur mikro pada plat nomor 2 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	49
Gambar IV.22 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 2 ditunjukkan pada titik merah...	50
Gambar IV.23 Struktur mikro pada plat nomor 3 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	50
Gambar IV.24 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 3 ditunjukkan pada titik merah...	51
Gambar IV.25 Struktur mikro pada plat nomor 4 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	51
Gambar IV.26 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 4 ditunjukkan pada titik merah...	52
Gambar IV.27 Struktur mikro pada plat nomor 5 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	52
Gambar IV.28 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 5 ditunjukkan pada titik merah...	53
Gambar IV.29 Struktur mikro pada plat nomor 6 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	53
Gambar IV.30 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 6 ditunjukkan pada titik merah...	54
Gambar IV.31 Struktur mikro pada plat nomor 7 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	54
Gambar IV.32 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 7 ditunjukkan pada titik merah...	55
Gambar IV.33 Struktur mikro pada plat nomor 8 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	55
Gambar IV.34 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 8 ditunjukkan pada titik merah...	56
Gambar IV.35 Struktur mikro pada plat nomor 9 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	56
Gambar IV.36 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 9 ditunjukkan pada titik merah...	57
Gambar IV.37 Struktur mikro pada plat nomor 10 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x ..	57
Gambar IV.38 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 10 ditunjukkan pada titik merah...	58
Gambar IV.39 Grafik besar diameter butir pada suhu 750°C akibat pengaruh <i>quenching</i> .....	59
Gambar IV.40 Grafik besar diameter butir pada suhu 850°C akibat pengaruh <i>quenching</i> .....	60
Gambar IV.41 Grafik besar diameter butir pada suhu 950°C akibat pengaruh <i>quenching</i> .....	60
Gambar IV.42 Grafik besar diameter butir akibat pengaruh suhu .....	61
Gambar IV.43 Grafik besar diameter butir akibat pengaruh suhu .....	62
Gambar IV.44 Perhitungan besar diameter butir akibat pengaruh suhu .....	62
Gambar IV.45 Grafik perbandingan nilai <i>yield strength</i> ASTM A36 .....	63
Gambar IV.46 Grafik perbandingan nilai <i>ultimate strength</i> ASTM A36.....	64
Gambar IV.47 Grafik perbandingan <i>hardness number</i> ASTM A36.....	64
Gambar IV.48 Grafik perbandingan besar butir ASTM A36 .....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36.....	6
Tabel II.2 Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36 .....	7
Tabel II.3 <i>Hardness testing techniques</i> .....	12
Tabel III.1 Komposisi Pengujian Material.....	22
Tabel III.2 Faktor Pengali dalam Metode Jeffries .....	32
Tabel IV.1 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 750°C .....	33
Tabel IV.2 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 850°C .....	34
Tabel IV.3 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi <i>quenching</i> pada suhu 950°C .....	36
Tabel IV.4 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada <i>quenching</i> 30 menit .....	37
Tabel IV.5 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada <i>quenching</i> 60 menit .....	39
Tabel IV.6 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada <i>quenching</i> 90 menit .....	41
Tabel IV.7 Data pengujian kekerasan dengan suhu 750°C.....	42
Tabel IV.8 Data pengujian kekerasan dengan suhu 850°C.....	43
Tabel IV.9 Data pengujian kekerasan dengan suhu 950°C.....	44
Tabel IV.10 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh <i>quenching</i> 30 menit .....	45
Tabel IV.11 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh <i>quenching</i> 60 menit .....	46
Tabel IV.12 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh <i>quenching</i> 90 menit .....	46
Tabel IV.13 Data laju pendinginan setiap plat.....	47
Tabel IV.14 Perhitungan Metalografi Besar Diameter Butir .....	58
Tabel IV.15 Rekapitulasi hasil seluruh pengujian .....	63

# BAB I.

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Banyaknya kasus kebakaran di perairan Indonesia seperti hal yang terjadi pada *Landing Ship Tank* (Kapal pengangkut tank) KRI Teluk Bintuni milik Angkatan Laut yang pernah terbakar pada proses pembangunannya menjadi salah satu faktor terjadinya kegagalan struktur. Hal ini disebabkan karena perubahan struktur material ketika material memiliki suhu tinggi (akibat kebakaran) yang langsung dipadamkan (dengan air laut). Perubahan struktur ini menyebabkan material menjadi lebih *brittle* (getas) dan cenderung untuk mudah patah. Apabila material menjadi lebih getas, maka material itu akan memiliki nilai kekerasan yang tinggi, dan nilai *plastic deformation* kecil atau bahkan tidak ada sama sekali.

Ada perbedaan *cooling rate* pada proses pemadaman api di atas kapal. Perbedaan *cooling rate* dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya titik pemadaman api, bentuk zat yang digunakan (kabut atau cair), lamanya proses pemadaman api, dan sebagainya.

*Quenching* merupakan perlakuan panas pada material dengan mempercepat penurunan suhu sampai suhu ruang pada suatu material dalam waktu yang singkat. Proses pemadaman api pada kebakaran (dengan air laut) ini memiliki kesamaan dengan *quenching*. Dalam bidang ilmu metalurgi, *quenching* dilakukan untuk mendapatkan material yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi.

Adanya perbedaan *cooling rate* dalam pemadaman api sesuai uraian diatas, penelitian ini akan dilakukan dengan simulasi suhu kebakaran dengan menggunakan *oven* pemanas. Variabel lain yang akan divariasikan adalah *cooling rate* dengan menggunakan proses *quenching*. Material yang akan digunakan merupakan ASTM A36 yang akan dilihat nilai kekerasannya dengan pengujian tarik. Dari hasil uji tarik ini akan diperoleh korelasi dengan besar nilai *hardness* dari material ASTM A36 dengan menggunakan percobaan Vickers.

### I.2 Perumusan Masalah

Dengan uraian penjelasan pada latar belakang diatas, maka perumusan masalah yang akan dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa besar nilai kuat tarik pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi *quenching*?
2. Berapa besar nilai kuat tarik pada material ASTM A36 dengan pengaruh variasi suhu?

3. Berapa besar nilai *hardness* pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi *quenching*?
4. Berapa besar nilai *hardness* pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi suhu?
5. Bagaimana struktur mikro dari material tanpa perlakuan dibandingkan dengan tanpa perlakuan *quenching*?
6. Berapa besar diameter struktur mikro pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi *quenching* dan suhu?
7. Apa hubungan antara kekuatan tarik, dan nilai *hardness* material ASTM A36 dan struktur mikro akibat pengaruh variasi *cooling rate quenching* ?

### **I.3 Batasan Masalah**

Batasan-batasan yang ada pada penelitian ini adalah:

- a. Baja yang digunakan adalah material ASTM A36.
- b. Media pendingin menggunakan Air Laut
- c. Pengujian menggunakan *tensile test* dan *vickers hardness test*.
- d. Variasi suhu perlakuan *quenching* yang akan digunakan adalah 750°C, dan 850°C, dan 950°C.
- e. *Holding time* yang akan dilaksanakan pada Tugas Akhir ini adalah 120 menit untuk masing-masing variasi suhu.
- f. *Cooling rate quenching* akan divariasikan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit
- g. Penelitian ini dilakukan pada struktur konstruksi yang berdekatan dengan sumber kebakaran.
- h. Proses perlakuan panas material untuk simulasi suhu kebakaran dilakukan pada *oven* pemanas.

### **I.4 Tujuan**

Tujuan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Untuk mengetahui nilai *hardness* pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi suhu dan lama perlakuan *quenching* .
- b. Untuk mengetahui besar kekuatan tarik pada material ASTM A36 akibat pengaruh variasi suhu dan lama perlakuan *quenching* .
- c. Untuk mengetahui hubungan antara kekuatan tarik dan nilai *hardness* serta struktur mikronya.

## **I.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Memberikan pengetahuan tentang proses pengujian *quenching* .
- b. Memberikan pengetahuan tentang nilai kekerasan material terhadap proses *quenching* .

## **I.6 Hipotesis**

Hipotesis awal dari tugas akhir ini adalah material ASTM A36 yang diberikan perlakuan *quenching* lebih singkat dibandingkan dengan yang diberikan perlakuan panas lebih lama akan memiliki nilai kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi.

## **I.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini yaitu:

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR GRAFIK

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi hal-hal yang menjelaskan tentang kondisi latar belakang yang mempengaruhi penelitian ini harus dilakukan, perumusan masalah dari penjelasan latar belakang penelitian ini menjadi permasalahan dan harus dijawab dengan penelitian ini dilakukan, batasan-batasan masalah dari penelitian ini, tujuan atau pencapaian yang digunakan untuk menjawab penelitian ini, manfaat yang akan diperoleh dari penelitian yang digunakan untuk menjawab penelitian ini, manfaat yang akan diperoleh dari penelitian tugas akhir ini, hipotesis awal dari penelitian ini dan gambaran sistematika penulisan laporan yang digunakan di dalam penulisan tugas akhir ini.

## **BAB II STUDI LITERATUR**

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian. Dengan tinjauan pustaka sebagai penjelasan singkat hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini, dan dasar teori berisi tulisan dan cuplikan penemuan ilmu pengetahuan dari peneliti,



persamaan-persamaan, dan kode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir sebagai pedoman seperti yang dijelaskan pada bab ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan langkah-langkah atau metode yang akan dilakukan selama penelitian tugas akhir ini berlangsung, dari persiapan hingga penyusunan laporan tugas akhir.

### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi pembahasan permasalahan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, studi komparatif, dan analisis teknis.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang penjabaran kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, rekomendasi, dan saran untuk penelitian selanjutnya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II.

### STUDI LITERATUR

#### II.1 Dasar Teori

##### II.1.1 Baja

Besi dan baja merupakan logam yang sering digunakan manusia untuk berbagai keperluan. Begitu juga dipada Industri Maritim khususnya Industri Perkapalan, baja sering digunakan sebagai bahan konstruksi pada pembuatan kapal.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu baja karbon dan baja paduan. Adapun klasifikasi baja tersebut antara lain:

###### a) Baja Karbon

Baja karbon tersusun dari unsur besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan murah, oleh karena itu umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya.

Baja karbon digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu:

###### [1] Baja Karbon Rendah

- Mengandung kandungan karbon  $< 0.25\%$ .
- Struktur didominasi oleh *ferrite* dan sedikit *pearlite*.
- Mempunyai keuletan yang tinggi dan mudah di-*machining*.
- Tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk *martensite*.
- Mempunyai nilai kekerasan rendah.
- Aplikasinya digunakan sebagai pagar pintu rumah, body mobil, dan pipa saluran.

###### [2] Baja Karbon Menengah

- Mengandung kandungan karbon  $0,25\% - 0,6\%$ .
- Dapat dinaikkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas *austenizing*, *quenching*, dan *tempering*.
- Lebih kuat dari baja karbon rendah.
- Lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon rendah.
- Aplikasinya digunakan sebagai bahan baku pembuatan perangkat mesin seperti roda gigi, poros, dan *crankshaft*.

###### [3] Baja Karbon Tinggi

- Mengandung kandungan karbon  $0,6\% - 1,7\%$ .
- Lebih kuat, lebih keras, lebih getas daripada baja karbon menengah.

- Lebih sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong daripada baja karbon menengah.
- Sulit dibentuk dengan mesin.
- Aplikasinya digunakan untuk gergaji, perkakas potong, pisau cukur, pegas, dan rel kereta api.

#### b) Baja Paduan

Baja paduan diklasifikasikan menurut kadar paduannya dibagi menjadi:

- [1] Baja paduan rendah (*low-alloy-steel*), jika elemen paduan  $\leq 2.5\%$  misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P dan lain-lain.
- [2] Baja paduan menengah (*medium-alloy-steel*), jika elemen paduannya  $2.5\% - 10\%$  misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P, dan lain-lain.
- [3] Baja paduan tinggi (*high-alloy steel*) jika elemen paduannya  $> 10\%$  misalnya unsur Cr, Mn, Si, S, P, dan lain-lain. (Surdia dan Saito, 1999)

### II.1.2 Sifat-Sifat Baja ASTM A36 dan Perlakuan Panas

Pada penelitian ini, baja yang digunakan adalah ASTM A36. Pada baja ASTM A36 termasuk baja yang memiliki komposisi karbon rendah (*low carbon steel*), mempunyai komposisi material dan *mechanic property* yang ditunjukkan pada Tabel II.1 dan Tabel II.2 yaitu:

Tabel II.1 Syarat Komposisi Kimia Baja ASTM A36  
(ASTM A36, 2004)

Komposisi (%)	Tebal Plat (mm)				
	$\leq 20$	20 – 40	40 – 65	65 – 100	$> 100$
Karbon (C), max	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Mangan (Mn)	...	...	0.18 – 1.20	0.08 – 1.20	0.08 – 1.20
Fosfor (P), max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur (S), max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon (Si)	0.04 max	0.04 max	0.15 – 0.40	0.15 – 0.40	0.15 – 0.40
Tembaga (Cu), Jika ditentukan	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel II.2 Syarat Uji Tarik Baja ASTM A36  
(ASTM A36, 2004)

Tegangan Puncak ( <i>Ultimate</i> ),	ksi [Mpa]	55 – 80	[400 – 500]
Tegangan Luluh ( <i>Yield</i> ), min,	ksi [Mpa]	36	[250]
Regangan, min,	%	23	

### II.1.3 Perlakuan Panas

#### 1. *Annealing*

*Annealing* (anil) merupakan proses perlakuan panas pada logam/paduan, yang dilakukan dengan memanaskan logam/paduan sampai pada temperatur tertentu kemudian menahan temperatur tersebut selama waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Adapun tujuan dilakukan anil, antara lain: melunakkan/menaikkan keuletan, menghaluskan butir kristal menghilangkan tegangan dalam, memperbaiki *machinability* dan memperbaiki sifat kelistrikan/kemagnitan.

#### 2. *Normalizing*

*Normalizing* (Normalisasi) merupakan suatu proses pemanasan pada baja sampai terbentuknya *austenite* seluruhnya, kira-kira sekitar 40°C diatas temperatur  $A_3$  untuk baja hypoeutekoid ( $\%C < 0.8$ ) atau diatas  $A_{cm}$  untuk baja hypereutekoid, kemudian ditahan untuk beberapa saat kemudian didinginkan di udara. Pendinginan ini lebih cepat daripada pendinginan pada anil sempurna.

Penormalan ini menghasilkan struktur mikro lebih halus, sehingga untuk baja dengan komposisi kimia yang sama akan mempunyai kekutan luluh, kekutan tarik maksimum, kekerasan dan kekuatan impak (*kekerasan*) lebih tinggi serta daripada proses anil sempurna.

#### 3. *Tempering*

*Tempering* merupakan proses perlakuan panas kembali yang dilakukan pada logam/paduan yang telah dikeraskan kesuatu temperatur dibawah temperatur kristis bawah  $A_1$  kemudian didinginkan kembali dengan laju pendinginan yang lambat.

Baja yang telah dikeraskan dengan pembentukan struktur *martensite*, pada kondisi *as-quenced*, biasanya sangat getas, sehingga tidak cukup baik dalam berbagai pemakaian. Oleh karena itu, baja yang telah dikeraskan dilakukan penemperan dengan tujuan, yaitu: untuk mengembalikan sebagian keuletan/kekerasan dengan mengorbankan

kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan, serta untuk menghilangkan/mengurangi tegangan sisa.

#### 4. *Quenching*

*Quenching* merupakan proses pendinginan yang cepat terhadap material dari *austenitezing* dari rentang suhu 815°C sampai 870° C untuk baja. Pemilihan media *quenching* tergantung dari kemampuan pengerasan material, ketebalan material, meliputi bentuk material dan jangka pendinginan untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Media *quenching* yang digunakan biasanya dalam bentuk larutan atau gas. Media *quenchant* berupa larutan yang digunakan adalah:

- a. Minyak yang dapat terdiri dari berbagai macam zat aditif.
- b. Air.
- c. Larutan polimer.
- d. Air yang mengandung garam atau zat aditif lainnya.

Media *quenching* yang berupa gas biasanya terdiri dari helium, argon, dan nitrogen. (ASM Vol 4, 1991)

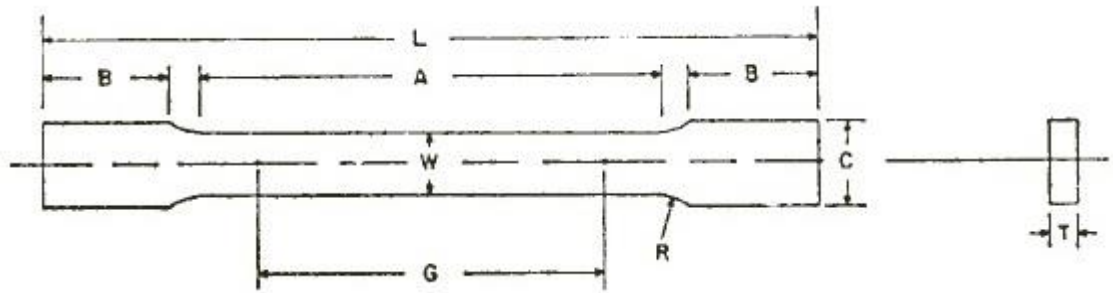
Proses *quenching* ini dilakukan dengan pendinginan yang cepat untuk menghasilkan struktur yang diinginkan. Jika proses *quenching* terjadi dengan cepat, maka distorsi dan cracking dapat terjadi. Oleh karena itu maka media *quenching* sangat perlu diperhatikan agar menghasilkan produk yang memuaskan. Salah satu media tersebut adalah air yang memberikan *quenching rate* tiga (3) kali lebih cepat dari oli dan lebih mudah dibersihkan dari oli.

#### II.1.4 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk melihat keuletan suatu material. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Proses pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban aksial secara berkelanjutan/terus-menerus pada benda uji (spesimen) hingga putus.

Proses pembuatan setiap benda uji harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Jika mengacu pada ASTM E8-04 (Gambar II.1), pengukuran benda uji dapat dilakukan. Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan pengukuran parameter yang merupakan acuan selama pengujian.



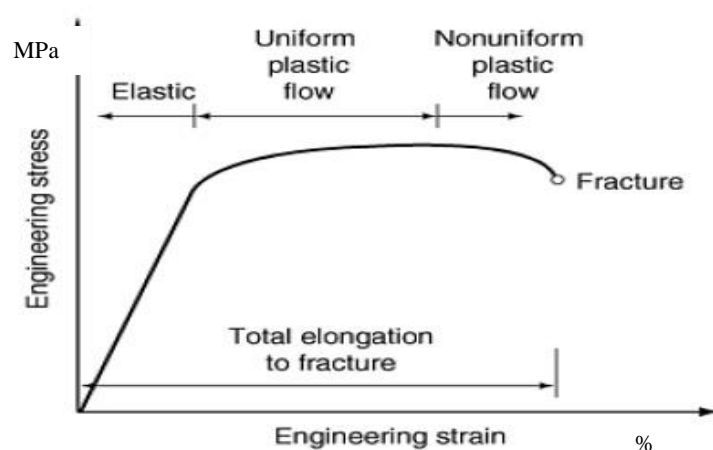


Gambar II.1 Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik  
(ASTM E8, 2004)

Dimana dari Gambar II.1:

- G : *gauge length* (mm)
- A : *length reduced section* (mm)
- R : *radius of fillet* (mm)
- C : *grip width* (mm)
- T : *thickness* (mm)
- L : *length* (mm)
- B : *grip length* (mm)

Hasil pengujian tarik digambarkan pada sebuah diagram tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar II.2. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada material yaitu deformasi plastis dan elastis. Disebut deformasi elastis, jika material diberi beban (ditarik) lalu beban dihilangkan akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi plastis terjadi, jika setelah beban dihilangkan material tidak kembali ke bentuk semula.



Gambar II.2 Diagram Tegangan-Regangan  
(ASM, 1991)

Deformasi elastis terjadi hingga titik luluh (*yield point*) setelah itu deformasi yang terjadi pada material adalah plastis hingga akhirnya material tersebut patah (*break point*). Titik luluh

jika tidak bisa diperoleh secara jelas pada pengamatan alat pengukur maupun diagram (terutama pada alat yang masih manual) bisa dilakukan dengan melakukan pengukuran offset sebesar 0,2% pada diagram. Titik tegangan maksimum berada pada posisi garis tertinggi dari diagram tersebut. Dari mesin uji tarik nilai tegangan maksimum dan luluh dalam satuan Newton.

Pada perencanaan konstruksi, nilai tegangan luluh ini sangat penting. Karena nilai ini menjadi acuan untuk desain sebuah konstruksi, sehingga beban yang diterima konstruksi tersebut berada di bawah kisaran tegangan luluh material. Jika material tersebut menerima beban melebihi tegangan luluh, maka terjadi deformasi plastis hingga pada akhirnya material tersebut akan mengalami kepecahan.

Sifat mekanis (*mechanical properties*) setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{Ultimate} &= \frac{P_{ultimate}}{A_o} \quad (\text{N/mm}^2) \dots\dots\dots[1] \\
 - \sigma_{Yield} &= \frac{P_{yield}}{A_o} \quad (\text{N/mm}^2) \dots\dots\dots[2] \\
 - \epsilon \text{ (Elongation)} &= \frac{(L_i - L_o)}{L} \quad (\%) \dots\dots\dots[3]
 \end{aligned}$$

Dimana:

- $A_o$  : Initial cross sectional area (mm<sup>2</sup>)
- $L_o$  : Gauge length awal (mm)
- $L_i$  : Gauge length setelah pengujian (mm)
- $P_{ultimate}$  : Maximum load(N)
- $P_{yield}$  : Yield load (N)

## II.1.5 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material, dan khusus untuk logam deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis. Untuk mengukur nilai kekerasan dari material digunakan alat dengan indentor kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.3 yang diberikan gaya terhadap permukaan material yang akan diuji, dengan kondisi beban dan tingkat aplikasi yang terkendali. Kedalaman akibat penekanan dapat diukur yang selanjutnya berelasi dengan nilai kekerasan.

Uji kekerasan lebih sering digunakan dibandingkan dengan pengujian mekanik lainnya karena:

1. Uji kekerasan sederhana dan tidak mahal – tidak ada spesimen khusus yang dibutuhkan untuk persiapan dan peralatan pengujian cenderung murah.

2. Pengujiannya tidak menghasilkan kerusakan – spesimen yang digunakan tidak mengalami retak atau deformasi yang berlebihan, lekukan kecil adalah sebagai deformasi
3. Sifat mekanik yang lain lebih sering diestimasi dengan menggunakan nilai kekerasan seperti kuat tarik (*tensile strength*).

#### A. Rockwell Hardness Test

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Indentor berupa bola baja yang dikeraskan dengan diameter  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$ , dan  $\frac{1}{2}$  inci. (1.588, 3.175, 6.350, dan 12.70 mm) dan penekan berupa kerucut intan (Brake) yang biasa digunakan untuk material yang dikeraskan.

Dengan sistem ini, nilai kekerasan material ditentukan dengan perbedaan kedalaman penetrasi hasil dari pemberian beban minor awal diikuti dengan beban major yang lebih besar; penggunaan beban minor menambah tingkat akurasi.

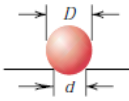

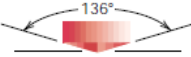

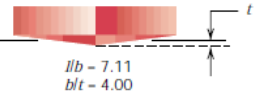
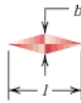
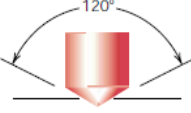
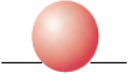


#### B. Brinell Hardness Test

Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indentor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan untuk material yang memiliki permukaan yang kasar dengan uji kekuatan berkisar 500-3000 kgf. Indentor (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten.

#### C. Knoop dan Vickers Microhardness Test

Pengujian kekerasan dengan metode Knoop dan Vickers bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dengan menggunakan indentor berupa intan kecil yang memiliki bentuk piramida yang dibebankan terhadap permukaan spesimen. Beban yang diberikan jauh lebih kecil dibandingkan dengan Rockwell dan Brinell, dengan jarak antara 1-1000 gram. Hasil dari penekanan dilihat dalam mikroskop dan diukur; pengukuran ini kemudian diubah menjadi nilai kekerasan. Persiapan permukaan spesimen diperlukan pada pengujian ini seperti *grinding* dan *polishing* untuk memastikan penekanan terbaca dengan baik dan pengukuran lebih akurat. Nilai kekerasan Knoop dan Vickers didefinisikan masing-masing dengan HK dan HV, dan skala kekerasan kedua teknik ini kurang lebih sama (Callister, 2000).

Tabel II.3 *Hardness testing techniques*  
(Callister, 2000)

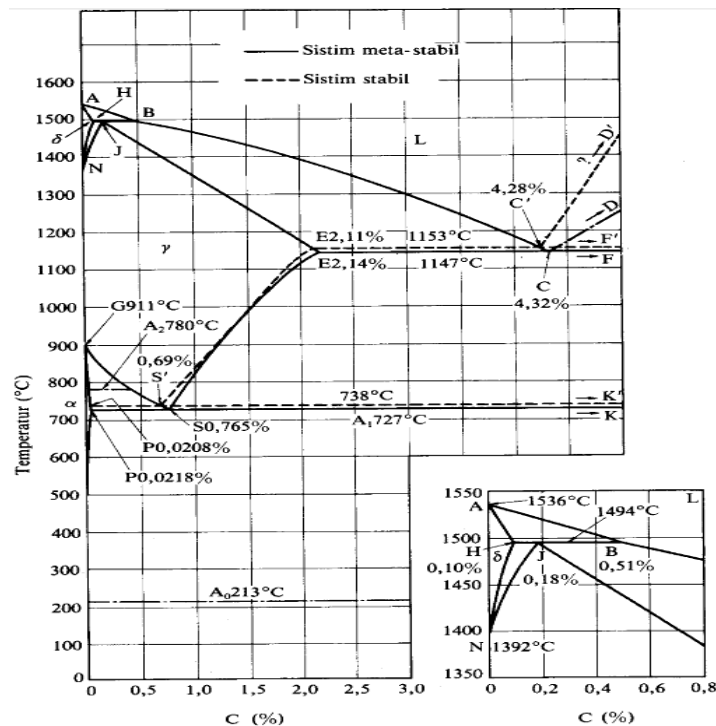
Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			$P$	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			$P$	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			$P$	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ <div>             Diamond cone  <math>\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}</math> in. diameter              steel spheres           </div>	 	 	<div>             60 kg              100 kg              150 kg           </div> Rockwell <div>             15 kg              30 kg              45 kg           </div> Superficial Rockwell	

### II.1.6 Struktur Mikro pada Baja

Besi dan baja paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam. Dari unsur besi berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi dan baja disebut bahan yang kaya dengan sifat-sifat. Struktur mikro besi dan baja dapat dijelaskan pada dua pembahasan berikut (Surdia dan Saito, 1999).

#### a. Diagram Fase Besi-Karbon

Diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3% - 1,5% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fase, maka diagram fase tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Pada paduan besi karbon terdapat fase karbida yang disebut *sementite* dan juga *grafite*, *grafite* lebih stabil daripada *sementite*, yang mana *sementite* mempunyai kadar karbon 6,67%.



Gambar II.3 Diagram Keseimbangan Besi-Karbon  
(Surdia dan Saito, 1999)

Titik-titik penting pada diagram fase Gambar II.3 ini adalah:

- A : Titik cair besi.
- B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik.
- H : Larutan padat  $\delta$  yang ada hubungan dengan reaksi peritektik. Kelarutan karbon maksimum adalah 0,1 %.
- J : Titik peritektik. Selama pendinginan *austenite* pada komposisi J. Fase  $\gamma$  terbentuk dari larutan padat  $\delta$  pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi  $\delta$  dari/ke besi  $\gamma$ , titik transformasi A4 dari besismurni.
- C : Titik eutektik. Selama pendinginan fase  $\gamma$  dengan komposisi E dan *sementite* pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fase eutektik disebut ledeburit.
- E : Titik yang menyatakan fase  $\gamma$ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi  $\gamma$  dari/ke besi  $\alpha$ . Titik transformasi A3 untuk besi.
- P : Titik yang menyatakan *ferrite*, fase  $\alpha$ , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%.

S : Titik eutektoid. Selama pendinginan *ferrite* pada komposisi P dan *sementite* pada komposisi K terbentuk simultan dari *austenite* pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A1, dan fase eutektoid ini dinamakan *pearlite*.

GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk *ferrite* dan *austenite*. Garis ini disebut garis A3.

ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk *sementite* dari *austenite*, dinamakan garis Acm.

A<sub>2</sub> : Titik transformasi magnetik untuk besi atau *ferrite*.

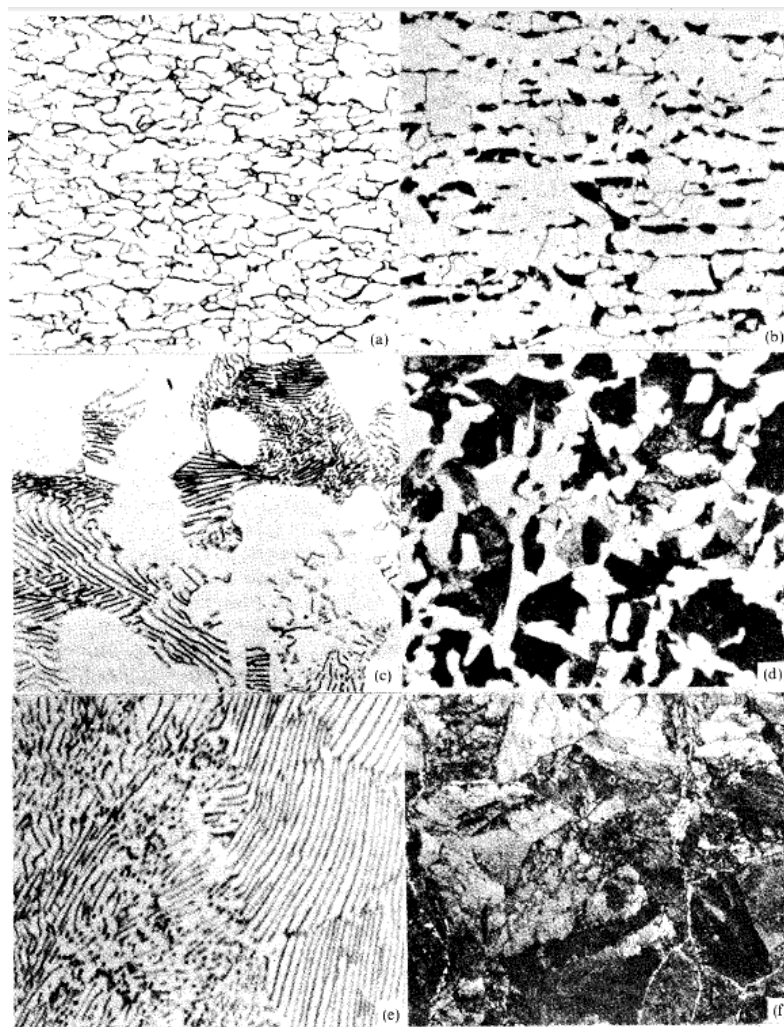
A<sub>0</sub> : Titik transformasi magnetik untuk *sementite*.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada diagram keseimbangan besi – karbon, yaitu perubahan fase perit, *austenite*, *sementite*, *pearlite*, dan *bainite* yang diuraikan dibawah ini:

- *Ferrite*: Merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana perit menjadi lunak dan ulet karena *ferrite* memiliki struktur BCC, maka ruang antara atom – atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon tertampung hanya sedikit.
- *Austenite*: Merupakan modifikasi besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan *pearlite*. Meski demikian rongga – rongga struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi.
- *Sementite*: Kondisi dimana karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fase kedua yang memiliki komposisi Fe<sub>3</sub>C. Karbida pada *ferrite* akan meningkatkan kekerasannya pada baja sifat dasar *sementite* adalah sangat keras.
- *Pearlite*: Merupakan campuran khusus yang terjadi atas dua fase yang terbentuk austenisasi, dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi *ferrite* dan karbida. Ini dikarenakan *ferrite* dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keluarnya saling bercampur. Apabila laju pendinginan dilakukan secara cepat maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat sehingga akhirnya menghasilkan lapisan tipis lebih banyak.
- *Martensite*: Fase yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali dan terjadi pada suhu dibawah eutektoid tetapi masih diatas suhu kamar. Karena struktur *austenite* tidak stabil maka akan berubah menjadi struktur BCT secara serentak. Semua atom bergerak serentak dan perubahan ini langsung dengan sangat cepat sehingga semua atom yang tinggal tetap pada larutan padat karena terperangkap dalam kisi sehingga sukar menjadi slip, maka *martensite* akan menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan

rapuh menjadi tinggi. *Martensite* dapat terjadi apabila *austenite* didinginkan dengan cepat (dicelup) hingga temperatur dibawah pembentukan *bainite*. *Martensite* terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom–atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini yang menimbulkan distorsi pada struktur kristal *martensite*. Tingkat distorsi yang terjadi sangat tergantung pada kadar karbon.

Baja yang berkadar karbon sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid. Gambar II.4 menunjukkan struktur mikro baja apabila baja didinginkan perlahan-lahan dari 50-100°C di atas garis GS (A3) dan garis SE (Acm). Pada baja eutektoid transformasi terjadi pada titik tetap S, menjadi struktur yang disebut *pearlite*. Pada baja hipoeutektoid terbentuk fase *ferrite* mendekati besi murni yang komposisinya sama dengan P dan *pearlite*, sedangkan pada hipereutektoid terbentuk *pearlite* dan *sementite* pada batas butir.



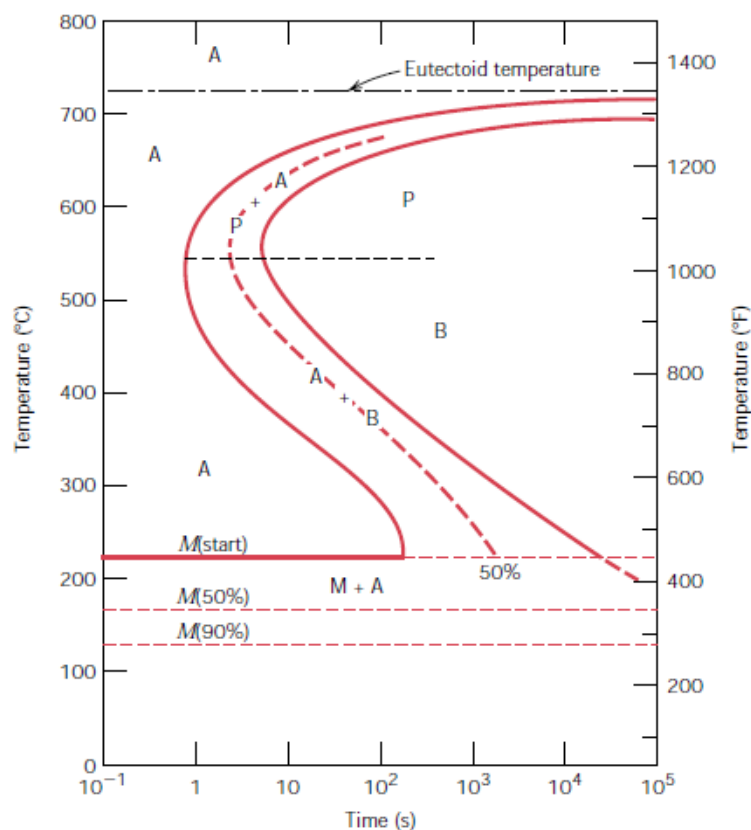
Gambar II.4 Struktur Mikro Baja Karbon  
(Surdia dan Saito, 1999)

Keterangan Gambar II.4:

- a : 0,06% C, besar butir medium (ASTM no.7) perbesaran 100 kali.
- b : 0,25% C baja dinormalkan pada 930°C perbesaran 500 kali.
- c : 0,3% C baja di-*austenite*-kan pada 930°C ditransformasikan isothermal pada 700°C, *ferrite* dan *pearlite* kasar perbesaran 1000 kali.
- d : 0,45% C baja dinormalkan pada 840°C, *ferrite* dan *pearlite* perbesaran 500 kali.
- e : 0,8% C baja di-*austenite*-kan pada 1150°C, didinginkan di tungku perbesaran 2000 kali.
- f : 1% C baja dirol panas pada 1050°C, pendinginan udara, matriks *pearlite*, *sementite* pada batas butir (garis putih) perbesaran 500 kali.

#### b. Diagram TTT dan CTT

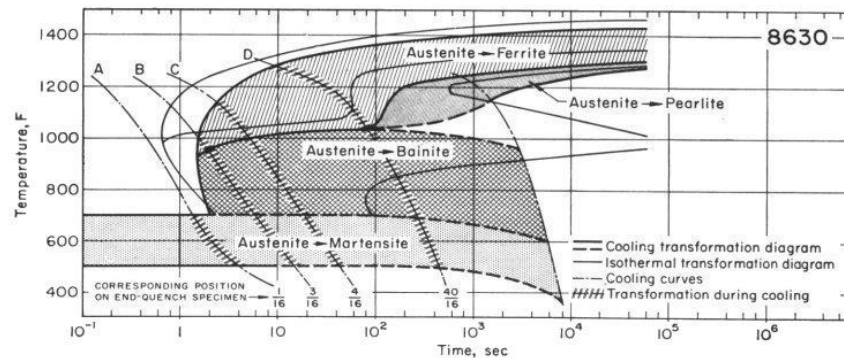
Untuk memahami macam – macam fase dan struktur kristal yang terjadi pada saat pendinginan dapat diamati dengan menggunakan diagram *Time Temperature Transformation* (TTT). Diagram TTT digunakan juga untuk menentukan laju reaksi perubahan fase.



Gambar II.5 Diagram TTT *iron-carbon*  
(Callister, 2000)



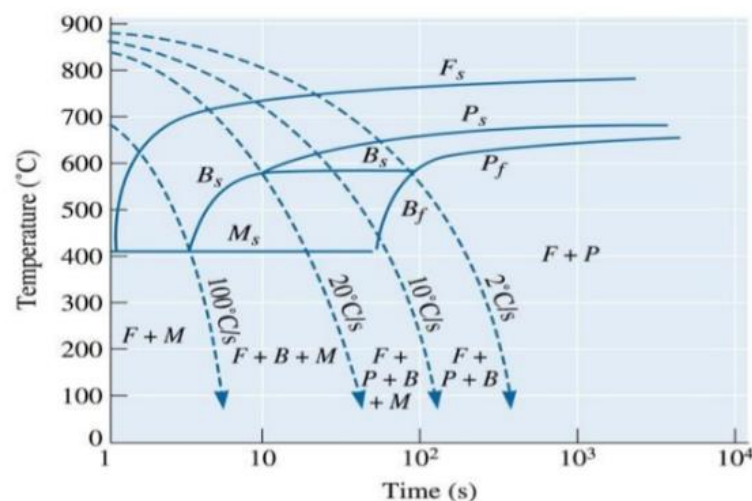
Untuk menghubungkan kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk dilakukan dengan menggabungkan diagram kecepatan pendinginan ke dalam diagram TTT dengan diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT), hubungan antara grafik TTT dengan grafik CTT dapat dilihat pada Gambar II.5.



No. 4

Gambar II.6 Hubungan Diagram TTT (garis tebal) dengan Diagram CCT (garis tipis)  
(ASM, 1991)

Pada Gambar II.6 diatas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik, berarti waktu pendinginan dari suhu *austenite* turun. Struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran *ferrite – pearlite* ke campuran *ferrite – pearlite – bainite – martensite*, *ferrite – bainite – martensite*, kemudian *bainite – martensite*, dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur yang terjadi adalah *martensite*.



Gambar II.7 Diagram CCT untuk baja karbon rendah dengan 0.2% C  
(Askeland, 1984)

Hasil penghitungan komposisi struktur mikro dari plat baja dilihat berdasarkan Gambar II.7 menunjukkan bahwa dengan kecepatan  $\pm 2^\circ\text{C/det}$  akan menghasilkan komposisi berupa

*ferrite* dan *pearlite*, sedangkan untuk diatas 2°C/det akan menghasilkan diagram berupa *ferrite*, *pearlite*, dan *bainite*.

## II.2 Tinjauan Pustaka

Rochiem (2009) melakukan studi eksperimen pengaruh proses perlakuan panas terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 310 S. perlakuan yang digunakan adalah *normalizing* dan *hardening* dengan variasi temperatur 1050°C dan 1075°C. Pengujian menggunakan uji kekerasan Vickers. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh harga kekerasan maksimal pada spesimen dengan perlakuan panas *hardening* pada temperatur 1075°C sebesar 175HV30.

Donald (2014). melakukan penelitian terkait pengaruh *quenching* terhadap kekuatan dan sambungan plat ASTM A36 dan diperoleh bahwa penurunan kekuatan tertinggi berada pada sambungan plat ASTM A36 bersuhu 950°C dengan waktu 60 menit dan media air laut untuk proses *quenching*, yaitu sebesar 326.96 MPa untuk nilai *yield strength* dan 420.61 MPa untuk nilai *ultimate tensile strength*.

Pada penelitian Baihaqi (2014), melakukan studi eksperimen metode perbaikan konstruksi lambung kapal pasca kebakaran. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil pada plat ASTM A36 yang diuji pada suhu 300°C-600°C nilai regangan masih pada batas yang diizinkan yaitu diatas 23%, sedangkan untuk suhu antara 650°C sampai dengan 1000°C nilai regangan yang dibawah 23% dan tidak memenuhi standar ASTM, meskipun nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* masih memenuhi standar.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Limbong (2015) terkait simulasi kebakaran terhadap material ASTM A36 yang didinginkan cepat, suhu simulasi yang digunakan yaitu 750°C, 850°C, dan 950°C. Untuk mensimulasikannya, ASTM A36 dipanaskan di dalam oven listrik sampai suhu simulasi dan ditahan selama 120 menit dan 240 menit. Tujuannya adalah melihat pengaruh lamanya penahanan suhu terhadap nilai *fracture toughness*, dari material setelah diberi perlakuan *quenching* dengan pengujian tarik, impak, dan melihat struktur mikronya. Penelitian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi laju pendinginan pada proses *quenching* terhadap material ASTM A36 yang dipanaskan dengan variasi suhu 750°C, 850°C, dan 950°C dilihat dari besar nilai kuat tarik, kekerasan, serta struktur mikronya.

## **BAB III.**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Prosedur Umum**

Tahapan umum proses pengerjaan Tugas Akhir, yaitu:

##### **A. Identifikasi Masalah**

Tahapan ini berisi tentang hal-hal yang menjadi latar belakang pembuatan Tugas Akhir yaitu

1. Kebakaran kapal menjadi salah satu penyebab kegagalan struktur;
2. Kegagalan struktur disebabkan adanya perubahan sifat mekanik material;
3. Perubahan sifat mekanik material disebabkan karena terjadi peristiwa serupa *quenching*.

##### **B. Studi Literatur**

Tahapan ini yaitu mengumpulkan sumber-sumber teori dan data yang dibutuhkan sebagai pendukung terlaksananya penelitian dan analisa yaitu:

1. Teori umum ASTM A36
2. Teori uji tarik
3. Teori *hardness*
4. Teori struktur mikro

##### **C. Persiapan material**

Persiapan yang dilakukan pada tahapan ini adalah:

1. Pemotongan plat ASTM A36 berukuran 300 mm x 150 mm sebanyak 10 buah.
2. Memberikan identitas material sebagai bahan uji

##### **D. Pemanasan *Oven***

Tahapan ini merupakan proses pemanasan pada plat menggunakan *oven* listrik dengan kombinasi pemanasan

1. Plat 2,3,4 dengan suhu 750°C dengan *holding time* 120 menit
2. Plat 5,6,7 dengan suhu 850°C dengan *holding time* 120 menit
3. Plat 8,9,10 dengan suhu 950°C dengan *holding time* 120 menit

##### **E. Pendinginan Plat ASTM A36**

Tahap ini merupakan proses *quenching* yaitu mendinginkan plat ASTM A36 dengan cara mencelupkan plat yang telah dipanaskan ke dalam ember berisi air laut.

Kombinasi proses *quenching* yang dilaksanakan:

1. Plat 1 dengan tanpa perlakuan *quenching*
2. Plat 2 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 30 menit
3. Plat 3 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 60 menit
4. Plat 4 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 90 menit
5. Plat 5 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 30 menit
6. Plat 6 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 60 menit
7. Plat 7 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 90 menit
8. Plat 8 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 30 menit
9. Plat 9 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 60 menit
10. Plat 10 dengan waktu *quenching* sampai suhu ruang selama 90 menit

F. Uji Kekuatan Plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui berapa kekuatan tarik dan *kekerasan* plat ASTM A36 setelah proses pemanasan dan *quenching* .

G. Uji Hardness Plat ASTM A36

Tahapan ini dilakukan untuk melihat nilai *hardness* dengan menggunakan *microvickers hardness*.

H. Pengamatan Struktur Mikro

Tahapan ini dilakukan untuk melihat struktur mikro dari plat ASTM A36 dengan proses pemanasan dan proses *quenching*.

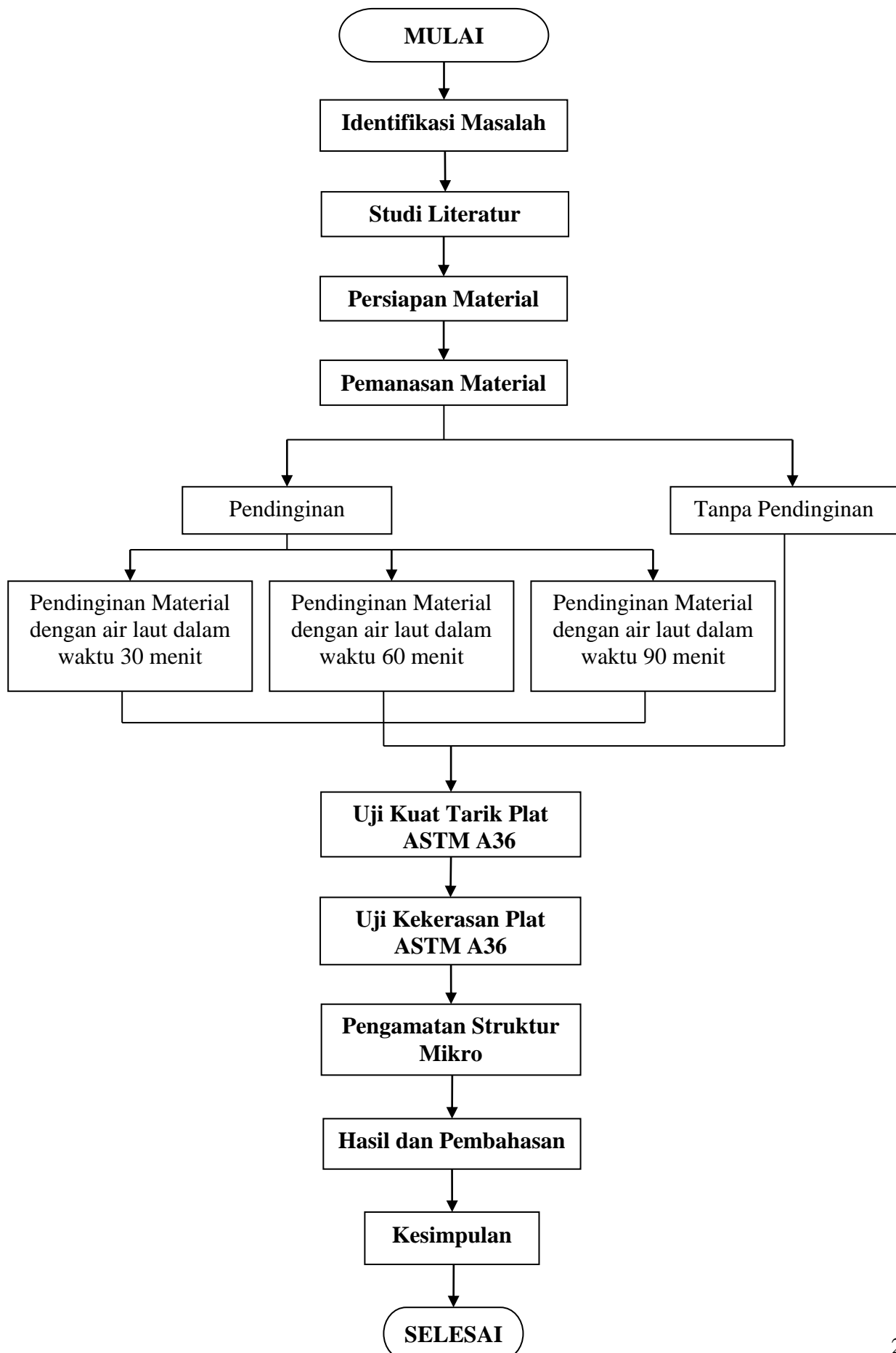
I. Hasil dan Pembahasan

Tahapan ini dilakukan untuk menganalisis hasil keseluruhan dan keterikatan antara nilai uji tarik, nilai *kekerasan* dan bentuk struktur mikronya.

J. Kesimpulan

Tahapan ini dilakukan untuk memaparkan kesimpulan dari hasil uji plat ASTM A36 dengan proses pemanasan dan *quenching* dalam waktu yang berbeda.

### III.2 Diagram Alir



### III.3 Bahan Penelitian

#### III.3.1 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini, adalah ASTM A36 dengan dimensi material yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Panjang : 300 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 10 mm
- Jumlah : 10 Buah

Komposisi pengujian material plat pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Komposisi Pengujian Material

No Plat	Kode Plat		Jenis Perlakuan				
			Variasi Suhu Pemanasan	Variasi waktu <i>quenching</i>	Uji Tarik	Uji Kekerasan	Struktur Mikro
1	D	-	-	-	√	√	√
2	A	1	750° C	30 Menit	√	√	√
3		2		60 Menit	√	√	√
4		3		90 Menit	√	√	√
5	B	1	850° C	30 Menit	√	√	√
6		2		60 Menit	√	√	√
7		3		90 Menit	√	√	√
8	C	1	950° C	30 Menit	√	√	√
9		2		60 Menit	√	√	√
10		3		90 Menit	√	√	√

#### III.3.2 Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan untuk proses *quenching* pada penelitian tugas akhir ini adalah air laut. Air laut diperoleh dari pantai kenjeran Surabaya.

### III.4 Proses Perlakuan Panas dan Proses *Quenching*

#### III.4.1 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas ini dilakukan untuk melihat kondisi plat akibat suhu yang terjadi dalam simulasi kebakaran. Kondisi plat yang akan dilihat adalah plat yang berdekatan dengan pusat kebakaran.

Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik perkapalan FTK ITS. Alat-alat yang digunakan pada proses perlakuan panas ini yaitu:

1. *Oven* pemanas merk Naber, Germani dengan kapasitas maksimum 1100 °C.
2. Tang penjepit
3. Sarung tangan
4. *Timer*
5. *Thermometer Infrared*

Adapun hal-hal yang dilakukan pada proses ini, antara lain:

1. Persiapan material

Sebelum material diuji, material tersebut diberikan tanda atau penomoran. Untuk plat pada suhu 750°C diberikan tanda atau penomoran 1A untuk *quenching* 30 menit, 1B untuk *quenching* 60 menit, dan 1C untuk *quenching* 90 menit. Untuk plat dengan suhu 850°C diberikan tanda atau penomoran 2A untuk *quenching* 30 menit, 2B untuk *quenching* 60 menit, dan 2C untuk *quenching* 90 menit. Untuk plat dengan suhu 950°C diberikan tanda atau penomoran 3A untuk *quenching* 30 menit, 3B untuk *quenching* 60 menit, dan 3C untuk *quenching* 90 menit. Plat yang terakhir diberikan tanda atau penomoran 4 untuk material tanpa perlakuan apa-apa.

2. Penyusunan plat

Penyusunan plat pada *oven* dilakukan untuk mempermudah pengambilan plat dari *oven* setelah selesai dipanaskan.

3. Pengaturan suhu *oven*

Pengaturan suhu *oven* ini dilakukan pada suhu 750 °C, 850 °C, dan 950 °C.

4. Perhitungan *holding time*

Perhitungan *holding time* ini dilakukan dengan menggunakan *timer*. *Holding time* dilakukan saat suhu *oven* sudah mencapai suhu yang ditetapkan yaitu 750 °C, 850 °C, dan 950 °C. *Holding time* dilaksanakan selama 120 menit saat *oven* sudah mencapai suhu yang ditetapkan. *Holding time* dilakukan agar material memiliki keseragaman struktur mikro. Penentuan suhu *holding time* dilakukan sesuai pada gambar III.1.



(a) (b) (c)

Gambar III.1 Penyetelan suhu oven (a)750°C (b)850°C (c)950°C

#### III.4.2 Proses *Quenching*

Pada proses pengujian ini dilakukan pada saat pemanasan oven telah selesai dilakukan. Setelah proses *holding time* telah mencapai waktu 120 menit pada proses pemanasan dengan temperatur 750° C, 850° C, dan 950° C, plat dikeluarkan dari oven dengan menggunakan penjepit dan dimasukkan ke dalam media pendingin. Media pendingin yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan air laut.

Persiapan dan tahapan pengujian *quenching* adalah:

##### 1. Persiapan media pendingin

Persiapan media pendingin dari air laut yang dimasukkan ke dalam panci aluminium (Gambar III.3). Suhu air awal yang terukur adalah 26°C dengan massa yang digunakan sebesar 10 kg. Untuk menentukan besar massa air laut yang dipakai dilakukan pengukuran dengan menggunakan timbangan digital seperti pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Pengukuran massa air laut sebesar 11 kg





Gambar III.3 Media pendingin air laut

## 2. Pengambilan plat dari oven

Proses ini dilakukan dengan penjepit setelah waktu pemanasan selesai yang ditunjukkan seperti pada Gambar II.4. Proses ini dilakukan sebanyak 9 kali, yaitu:

- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $750^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 30 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $750^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 60 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $750^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 90 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $850^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 30 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $850^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 60 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $850^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 90 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $950^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 30 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $950^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 60 menit
- ❖ Mengeluarkan plat pada pemanasan  $950^{\circ}\text{C}$  untuk waktu *quenching* 90 menit



Gambar III.4 Proses pengambilan plat

3. Memasukkan plat ke dalam media pendingin

Setelah plat dikeluarkan dari *oven* dengan menggunakan penjepit, kemudian plat tersebut dimasukkan ke dalam panci aluminium berisi media pendingin seperti terlihat pada Gambar III.5.



Gambar III.5 Material ASTM A36 yang diberi perlakuan *quenching*

4. Mencatat waktu pendinginan dan suhu material

Lama waktu pendinginan diukur berdasarkan waktu *quenching* (30, 60 dan 90 menit) saat plat telah dimasukkan ke dalam media pendingin. Pencatatan suhu material diukur dengan menggunakan *thermometer infrared* setiap 3 menit dengan menggunakan *timer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.6.



Gambar III.6 Pengukuran suhu material

5. Mengeluarkan plat dari media pendingin

Setelah waktu pengukuran selesai, plat dikeluarkan dari dalam media pendingin.

### **III.5 Pembuatan Spesimen**

Berikut daftar bahan uji yang akan dipakai pada penelitian:

- *Tensile test* sebanyak 30 buah (3 buah/plat)
- *Hardness test* sebanyak 10 buah (1 buah/plat)
- *Struktur mikro* sebanyak 10 buah (1 buah/plat)

#### **III.5.1 Tensile Test**

##### **III.5.1.1 Penentuan ukuran Spesimen**

Spesimen pada proses pengujian tarik (*tensile test*) ini berbentuk *flat tensile spesimen*. Untuk penentuan ukuran spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8-04, dapat dilihat dalam Gambar II.1.

##### **III.5.1.2 Proses Uji Tarik**

Proses uji tarik ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali, dimana 3 kali untuk spesimen tanpa perlakuan dan 18 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi perlakuan panas dan variasi kombinasi perlakuan *quenching*.

Adapun langkah-langkah pada proses uji tarik ini adalah sebagai berikut:

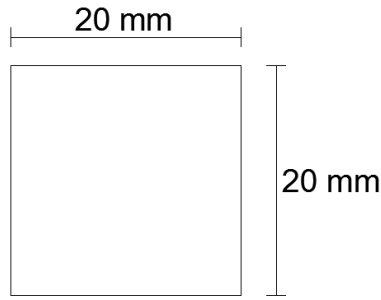
1. Pembuatan spesimen yang menggunakan standar ASTM E8-04
2. Pembersihan permukaan spesimen dengan menggunakan gerinda
3. Melakukan pengukuran luas penampang tengah dan juga *gauge length*.
4. Spesimen uji dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pengcekram (*grip*) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik kearah memanjang secara perlahan sampai putus.
5. Selama penarikan setiap saat tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik tersebut.
6. Setelah proses pengujian tarik dilakukan pengukuran akhir pada specimen.

#### **III.5.2 Hardness Test**

##### **III.5.2.1 Penentuan ukuran spesimen**

Dimensi ukuran spesimen uji kekerasan yang digunakan adalah:

Panjang	: 20 mm
Lebar	: 20 mm
Tebal	: 10 mm



Gambar III.7 Dimensi Spesimen *Micro-hardness test*

Spesimen yang digunakan untuk melakukan pengujian *hardness test* adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar III.7.

#### **III.5.2.2 Proses Uji Kekerasan**

Proses pengujian kekerasan material dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Proses pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan pembagian 1 kali untuk spesimen tanpa perlakuan *quenching* dan 9 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi lama perlakuan *quenching*. Standar prosedur yang digunakan adalah ASTM E384-84. Adapun langkah-langkah pada proses analisis ini adalah sebagai berikut:

1. *Grinding*, yaitu proses penghalusan spesimen dengan mesin *grinder*, kemudian spesimen yang telah digrinda digosok menggunakan kertas gosok.
2. *Polishing*, yaitu proses pemolesan spesimen. Pemolesan spesimen ini dilakukan dengan menekan spesimen pada permukaan piringan yang berputar dengan cepat. Piringan tersebut dilapisi dengan penggosok yang ditaburi alumina.
3. Bagian permukaan spesimen yang telah dipoles, kemudian dicelupkan pada larutan nital. Tujuan pencelupan permukaan spesimen adalah agar kontur struktur mikro terbentuk pada saat diteliti menggunakan mikroskop optik.
4. Spesimen yang telah siap diletakkan ke alat *micro-hardness* dan dilihat terlebih dahulu untuk menentukan fokus dari lensa optiknya, kemudian lensa diganti dengan alat penekan setelah itu dilihat dan diukur diameter dari pemberian beban tekan. Hasil pengukuran akan keluar otomatis beserta nilai kekerasan Vickers-nya (HV).



Gambar III.8 Proses pemolesan untuk spesimen *hardness test*



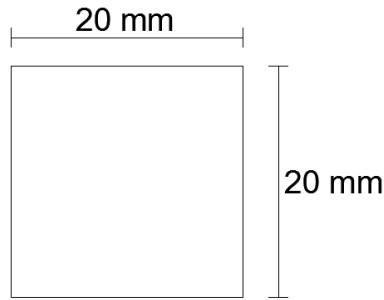
Gambar III.9 Pengukuran diameter penekanan pada spesimen

### III.5.3 Analisis Struktur Mikro

#### III.5.3.1 Penentuan Ukuran Struktur Mikro

Dimensi ukuran struktur mikro yang dibuat adalah:

Panjang	: 20 mm
Lebar	: 20 mm
Tebal	: 10 mm



Gambar III.10 Dimensi Spesimen struktur mikro

Spesimen yang digunakan untuk melakukan pengujian *hardness test* adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar III.10.

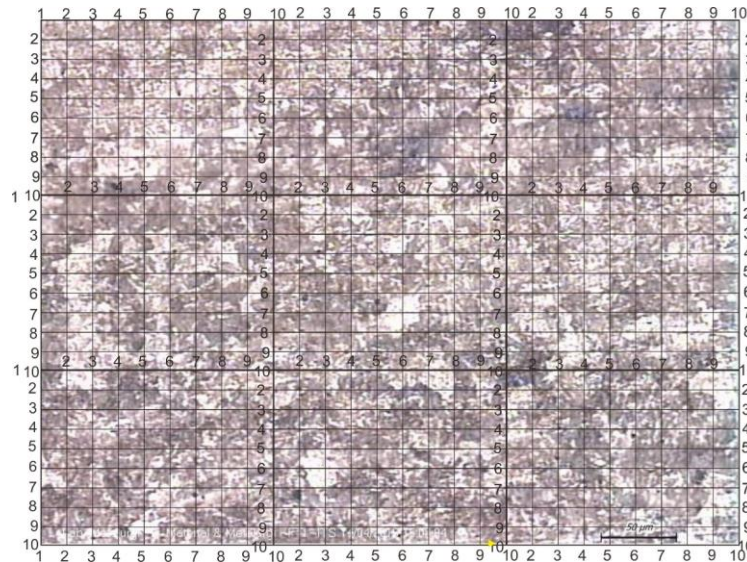
#### **III.5.3.2 Proses Analisis Struktur Mikro**

Proses analisa struktur mikro dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS. Proses analisis ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan pembagian 1 kali untuk spesimen tanpa perlakuan *quenching* dan 9 kali untuk spesimen dengan variasi kombinasi lama perlakuan *quenching*. Adapun langkah-langkah pada proses analisis ini adalah sebagai berikut:

1. *Grinding*, yaitu proses penghalusan spesimen dengan mesin *grinder*, kemudian spesimen yang telah digrinda digosok menggunakan kertas gosok.
2. *Polishing*, yaitu proses pemolesan spesimen. Pemolesan spesimen ini dilakukan dengan menekan spesimen pada permukaan piringan yang berputar dengan cepat. Piringan tersebut dilapisi dengan penggosok yang ditaburi alumina.
3. Bagian permukaan spesimen yang telah dipoles, kemudian dicelupkan pada larutan nital. Tujuan pencelupan spesimen adalah agar kontur struktur mikro terbentuk pada saat diteliti menggunakan mikroskop optik.
4. Spesimen diteliti menggunakan mikroskop optik dengan memfoto potongan spesimen untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada spesimen.

#### **III.5.3.3 Pengukuran Komposisi Struktur Mikro Baja**

Setelah struktur mikro pada spesimen difoto, untuk menentukan jumlah mikro struktur dilakukan langkah berikut ini:



Gambar III.11 Foto mikro yang sudah dibagi menjadi 9 kotak besar

1. Membagi Gambar III.12 menjadi 9 kotak besar (3 kotak x 3 kotak)
2. Di setiap kotak dibagi menjadi 9x9 kotak kecil sehingga pada setiap kotak besar terdapat 100 titik
3. Pada setiap titik pada kotak besar dihitung bagian putih (*Ferrite*) dan gelap (*Pearlite*), sehingga diperoleh 100 titik *ferrite* dan *pearlite* pada satu kotak besar.
4. %*Ferrite* (bagian terang) =  $\frac{A}{100} * 100\%$
5. %*Pearlite* (bagian gelap) =  $\frac{B}{100} * 100\%$
6. Menghitung *Pearlite* rata-rata dan *Ferrite* rata-rata

#### III.5.3.4 Pengukuran Besar Butir

Analisa dan pengukuran besar butir dilakukan dengan menggunakan *Standart Test Methods for Detirmining Average Grain Size* (ASTM E112-96). Terdapat berbagai metode yang digunakan di dalam ASTM E112, namun pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menghitung besar butir yaitu: Metode Planimetri (Jeffries Method).

Metode ini menggunakan lingkaran yang umumnya memiliki luas 5000 mm<sup>2</sup>. Perbesaran dipilih sedemikian sehingga sedikitnya 50 butir yang berada dalam lingkaran. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran ditambah setengah dari jumlah butir dengan pengali Jeffries (f) pada tabel III.2.

Rumus Empiris:

$$G = (3,322 \log (Na) - 2,95) \dots\dots\dots [4]$$

$$Na = f(n1 + \frac{N2}{2}) \dots\dots\dots [5]$$



Dengan:

$G$  = besar butir dirujuk ke tabel ASTM E112 untuk mencari nilai diameter butir

$N_a$  = Jumlah butir

$N_1$  = Jumlah butir dalam lingkaran

$N_2$  = jumlah butir yang bersinggungan dengan garis lingkaran

$F$  = faktor pengali

Faktor pengali ditentukan pada Tabel III.2.

Tabel III.2 Faktor Pengali dalam Metode Jeffries

Perbesaran	f
1	0,002
25	0,125
50	0,5
75	1,125
100	2,0
200	8,0
300	18,0
500	50,0
1000	200,0



## BAB IV.

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Analisa Pengujian Tarik

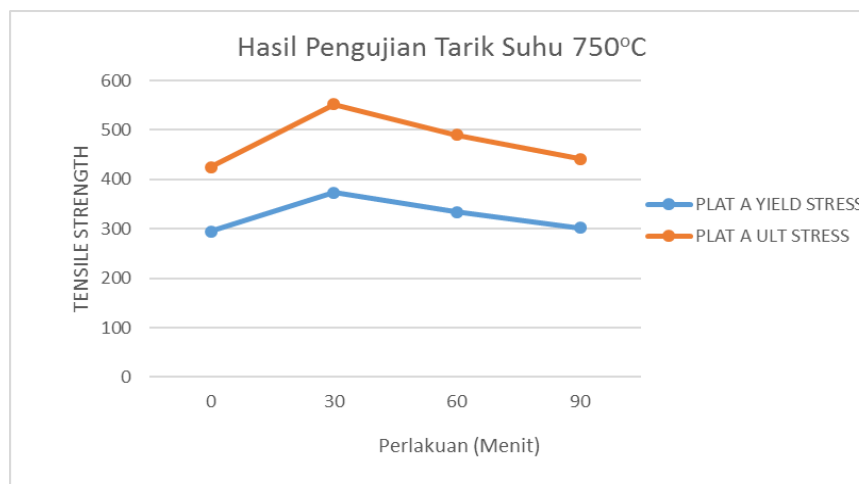
Pengujian tarik ini dilakukan pada material ASTM A36 dengan menggunakan standar ASTM E8-04. Dari pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh data-data sebagai berikut:

##### IV.1.1 Hasil pengujian tarik akibat pengaruh *cooling rate*

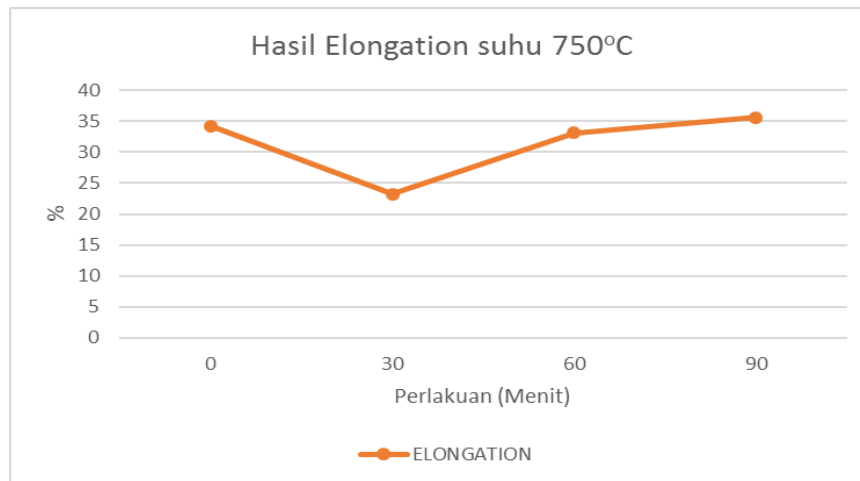
1. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 750°C

Tabel IV.1 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 750°C

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
2	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 30 menit	551.66	1.299	373.543	1.299	23.26	0.679
3	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 60 menit	490.39	1.15	334.234	1.155	33.12	0.967
4	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 90 menit	441.56	1.04	302.199	1.04	35.6	1.039



Gambar IV.1 Grafik pengujian tarik akibat variasi *quenching* pada suhu 750°C



Gambar IV.2 Grafik *elongation* akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 750°C

Pada suhu pemanasan 750°C dengan *holding time* selama 120 menit, data hasil pengujian tarik (Tabel IV.1) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.1 dan Gambar IV.2), didapat bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 2 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* dalam waktu 30 menit yang memiliki nilai sebesar *ultimate strength* 551.66 MPa dan *yield strength* sebesar 373.543 MPa. Sedangkan untuk nilai terendah dimiliki oleh plat no 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 424.49 MPa untuk *ultimate strength* dan 294,82 MPa untuk nilai *yield strength*. Untuk nilai regangan terbesar dimiliki oleh plat 4 (perlakuan suhu 750°C dan *quenching* 90 menit) yaitu sebesar 35,6 % sedangkan nilai regangan terkecil dimiliki oleh plat 2 (perlakuan suhu 750°C dan *quenching* 30 menit) yaitu sebesar 23.26%.

Peningkatan nilai kuat tarik dari plat nomor 1 ke nomor 2 menunjukkan bahwa pengaruh pendinginan cepat dapat meningkatkan kekuatan dari material. Pada plat nomor 2, 3 dan 4 masing-masing memiliki perbedaan perlakuan pada waktu pendinginannya. Semakin tinggi laju pendinginan maka nilai kekuatan material semakin tinggi. Semakin tinggi nilai kuat tarik maka nilai kelenturannya akan semakin berkurang.

## 2. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 850°C

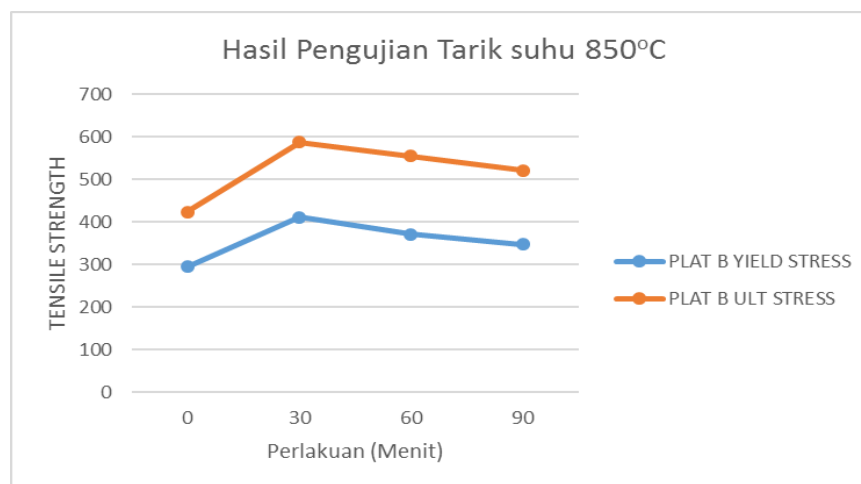
Pada suhu pemanasan 850°C dengan *holding time* selama 120 menit, data hasil pengujian tarik seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.2 dan juga dari grafik hasil pengujian tarik yang terdapat pada Gambar IV.3 dan Gambar IV.4, didapat bahwa nilai *yield strength* dan *tensile strength* terbesar didapat pada plat nomor 5 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* dalam waktu 30 menit yang memiliki nilai sebesar *ultimate strength* 587.51 MPa dan *yield strength* sebesar 411.53 MPa. Sedangkan untuk nilai terendah dimiliki oleh plat no 1 (tanpa perlakuan), yaitu

sebesar 424.29 MPa untuk ultimate strength dan 294,82 MPa untuk nilai yield strength. Untuk nilai regangan terbesar dimiliki oleh plat 7 (perlakuan suhu 850oC dan quenching 90 menit) yaitu sebesar 32.64 % sedangkan nilai regangan terkecil dimiliki oleh plat 6 (perlakuan suhu 850oC dan quenching 60 menit) yaitu sebesar 25.88 %.

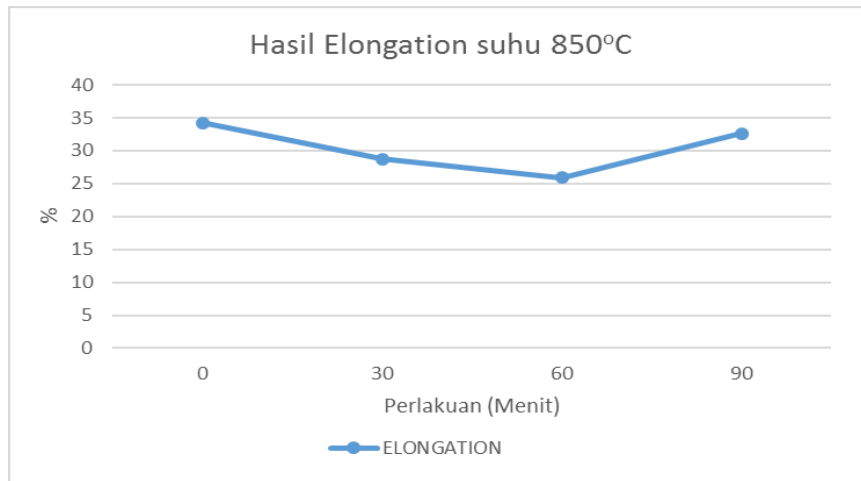
Pada Gambar IV.4 yaitu perlakuan 850°C, plat nomor 6 menunjukkan nilai regangan yang cukup rendah, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah berdasarkan struktur mikronya komposisi dari ketiga plat dengan perlakuan 850°C didominasi dengan *pearlite*, namun pada plat nomor 6 nampak lebih jelas *pearlite* dibandingkan dengan *ferrite*-nya. Jumlah *pearlite* yang banyak membuat material menjadi semakin keras sehingga regangan dari plat nomor 6 semakin kecil.

Tabel IV.2 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 850°C

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
5	Oven suhu 850°C Quenching 30 menit	587.51	1.396	411.53	1.99	28.71	0.838
6	Oven suhu 850°C Quenching 60 menit	555.01	1.259	371.35	1.88	25.88	0.756
7	Oven suhu 850°C Quenching 90 menit	520.93	1.179	347.58	1.766	32.64	0.953



Gambar IV.3 Grafik pengujian tarik akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 850°C

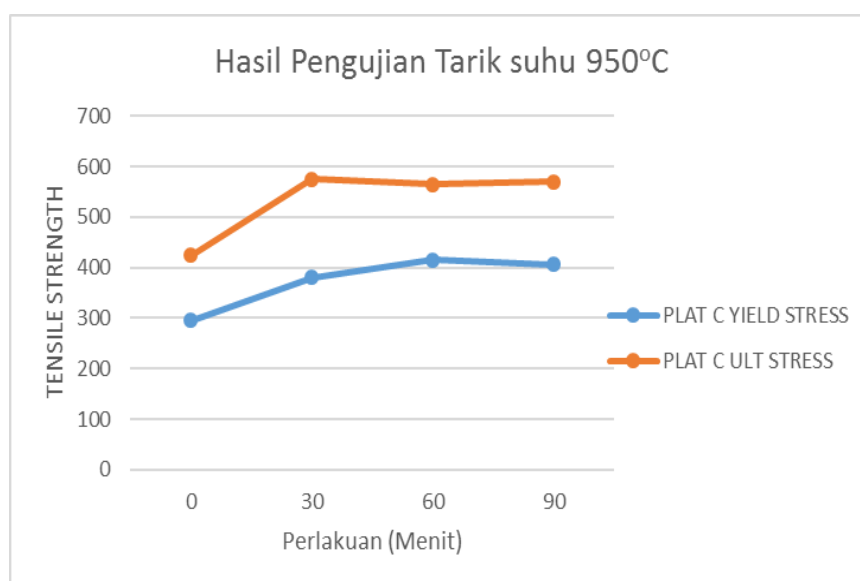


Gambar IV.4 Grafik *elongation* akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 850°C

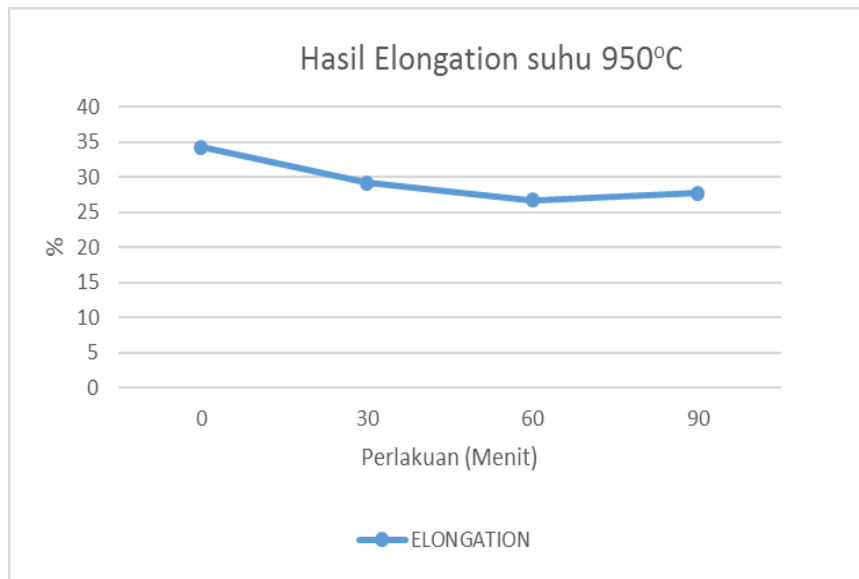
### 3. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 950°C

Tabel IV.3 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 950°C

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (Mpa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
8	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 30 menit	574.57	1.354	380.5	1.291	29.19	0.852
9	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 60 menit	565.088	1.331	415.64	1.409	26.73	0.781
10	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 90 menit	569.51	1.342	406.1	1.377	27.71	0.809



Gambar IV.5 Grafik pengujian tarik akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 950°C



Gambar IV.6 Grafik *elongation* akibat pengaruh variasi *quenching* pada suhu 950°C

Pada suhu pemanasan 950°C dengan *holding time* selama 120 menit, data hasil pengujian tarik (Tabel IV.3) dan juga dari grafik hasil pengujian tarik (Gambar IV.5 dan Gambar IV.6), didapat bahwa nilai *ultimate strength* terbesar didapat pada plat nomor 8 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* dalam waktu 30 menit yang memiliki nilai sebesar 574.57 MPa dan *yield strength* terbesar dimiliki oleh plat nomor 9 dengan nilai sebesar 415.63 MPa. Sedangkan untuk nilai terendah dimiliki oleh plat no 1 (tanpa perlakuan), yaitu sebesar 424.29 MPa untuk *ultimate strength* dan 294,82 MPa untuk nilai *yield strength*. Untuk nilai regangan terbesar dimiliki oleh plat 8 (perlakuan suhu 950°C dan *quenching* 30 menit) yaitu sebesar 29.19 % sedangkan nilai regangan terkecil dimiliki oleh plat 9 (perlakuan suhu 950°C dan *quenching* 60 menit) yaitu sebesar 26.73 %.

Pada perlakuan 950°C, plat nomor 8 memiliki kuat *ultimate tensile strength* tertinggi namun *yield strength* terendah, apabila ditinjau dari besar butir dan struktur mikronya komponen struktur mikro yang terdapat pada plat nomor 8 terbentuk *bainite* yang artinya plat ini memiliki tingkat kekerasan yang tinggi.

#### IV.1.2 Hasil Pengujian tarik akibat pengaruh suhu

##### 1. Pengaruh suhu pada waktu 30 menit

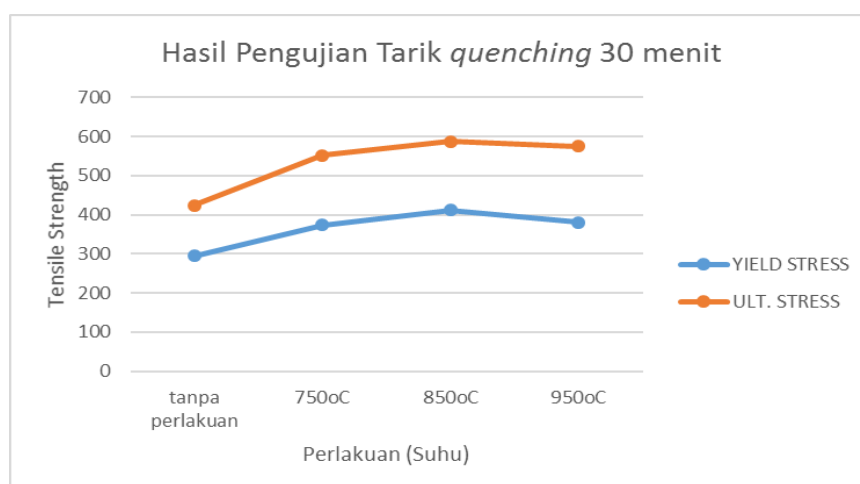
Pada Gambar IV.8 menunjukkan perbandingan antara nilai kuat tarik setiap plat dengan waktu pendinginan yang sama diperoleh bahwa nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh plat 5 (perlakuan *quenching* 30 menit dengan suhu 850oC) dengan nilai *ultimate strength* sebesar 555.01 MPa dan nilai *yield strength* 371.35 MPa, untuk nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 2

(perlakuan quenching 30 menit dengan suhu 750oC) dengan nilai ultimate strength sebesar 551.66 MPa dan nilai yield strength sebesar 373.543 MPa. Sedangkan untuk elongasi terpanjang dimiliki oleh plat nomor 8 (perlakuan quenching 30 menit dengan suhu 950oC) dengan nilai elongasi sebesar 27.71 % dan nilai elongasi terendah dimiliki oleh plat nomor 2 sebesar 23.26%.

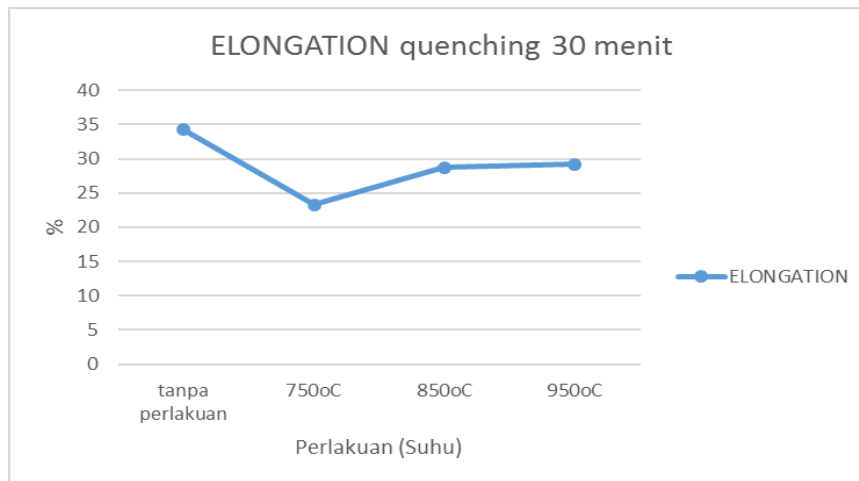
Nilai regangan menurun dari plat nomor 1 (tanpa perlakuan) ke plat nomor 2 (perlakuan suhu 750oC) tetapi kembali meningkat pada plat nomor 5 dan 8. Hal ini disebabkan adanya perlakuan suhu yang berbeda sehingga struktur mikro yang terbentuk antara ketiga plat ini menjadi berbeda. Pada suhu plat nomor 2 merupakan suhu mulainya pembentukan austenite yaitu 724oC dan waktu holding time yang relative singkat membuat struktur mikronya belum terbentuk secara merata sehingga nilai regangannya semakin rendah dan diameter butir dari plat nomor 2 lebih besar karena laju pendinginan cenderung lebih lambat dibandingkan dengan plat nomor 5 dan 8.

Tabel IV.4 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada *quenching* 30 menit

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (Mpa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
2	<i>Oven</i> suhu 750°C <i>Quenching</i> 30 menit	551.66	1.299	373.54	1.267	23.26	0.679
5	<i>Oven</i> suhu 850°C <i>Quenching</i> 30 menit	587.51	1.384	411.53	1.396	28.71	0.838
8	<i>Oven</i> suhu 950°C <i>Quenching</i> 30 menit	574.57	1.354	380.5	1.29	29.19	0.852



Gambar IV.7 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan *quenching* 30 menit



Gambar IV.8 Hasil *elongation* plat dengan perlakuan *quenching* 30 menit

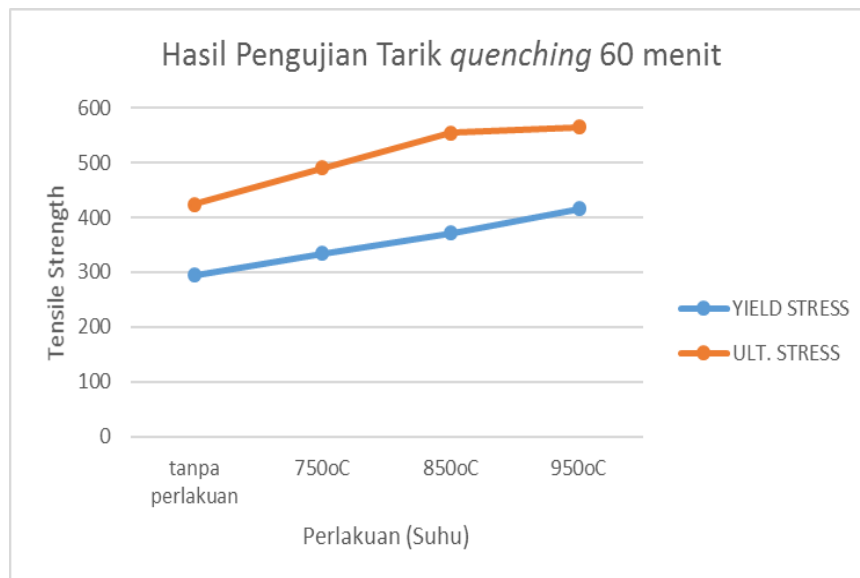
## 2. Pengaruh suhu pada waktu 60 menit

Pada Tabel IV.5, Gambar IV.9 dan Gambar IV.10 menunjukkan masing-masing besar nilai dari kuat tarik dengan elongasi dari plat dengan perlakuan *quenching* yang sama yaitu selama 60 menit. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh hasil nilai *ultimate strength* dan *yield strength* tertinggi dimiliki oleh plat nomor 9 (perlakuan *quenching* 60 menit dengan suhu 950°C) dengan nilai *ultimate strength* sebesar 565.08 MPa dan nilai *yield strength* sebesar 415.63 MPa, sedangkan nilai *ultimate strength* dan *yield strength* terendah dimiliki oleh plat nomor 3 dengan nilai *ultimate strength* sebesar 490.39 MPa dan nilai *yield strength* sebesar 334.23 MPa. Untuk nilai elongasi tertinggi dimiliki oleh plat nomor 1 (tanpa perlakuan) yaitu sebesar 34.25 % dan nilai elongasi terendah dimiliki oleh plat nomor 6 sebesar 25.88%.

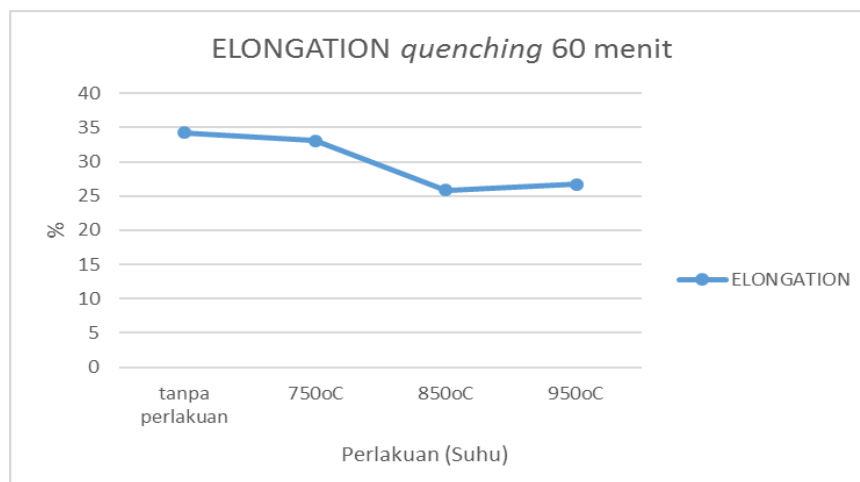
Tabel IV.5 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada *quenching* 60 menit

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (Mpa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
3	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 60 menit	490.39	1.15	334.234	1.155	33.12	0.967
6	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 60 menit	555.01	1.307	371.35	1.259	25.88	0.756
9	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 60 menit	565.1	1.331	415.63	1.409	26.73	0.781

Plat dengan perlakuan yang memiliki nilai regangan tertinggi dihasilkan oleh plat nomor 3 salah satu faktor penyebabnya adalah plat tersebut memiliki persentase *pearlite* yang tidak jauh berbeda dengan plat nomor 6 dan 9 namun memiliki besar butir yang lebih besar dibandingkan dengan plat nomor 6 dan 9. Semakin besar diameter butir struktur mikro maka nilai keuletannya semakin bertambah serta banyaknya *ferrite* pada plat membuat plat menjadi lebih ulet.



Gambar IV.9 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan *quenching* 60 menit



Gambar IV.10 Hasil *elongation* plat dengan perlakuan *quenching* 60 menit

### 3. Pengaruh suhu pada waktu 90 menit

Pada Tabel IV.6, Gambar IV.11 dan Gambar IV.12 menunjukkan masing-masing besar nilai dari kuat tarik dengan elongasi dari plat dengan perlakuan quenching yang sama yaitu selama 90 menit. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh hasil nilai ultimate strength dan yield

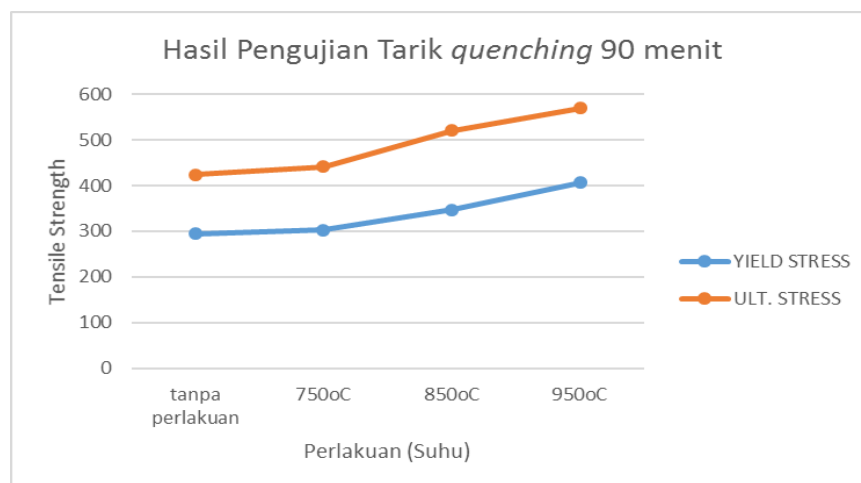


strength tertinggi dimiliki oleh plat nomor 10 (perlakuan quenching 90 menit dengan suhu 950oC) dengan nilai ultimate strength sebesar 569.51 MPa dan nilai yield strength sebesar 4406.1 MPa, sedangkan nilai ultimate strength dan yield strength terendah dimiliki oleh plat nomor 4 (perlakuan quenching 90 menit dengan suhu 750oC) dengan nilai ultimate strength sebesar 441.56 MPa dan nilai yield strength sebesar 302.2 Mpa. Untuk nilai elongasi tertinggi dimiliki oleh plat nomor 4 yaitu sebesar 35.6% dan nilai elongasi terendah dimiliki oleh plat nomor 10 sebesar 27.71%.

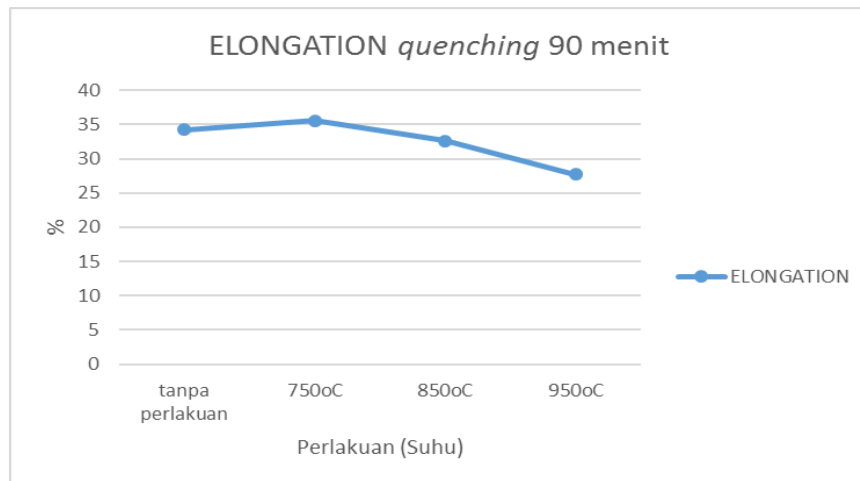
Nilai tegangan naik seiring dengan bertambahnya suhu sedangkan nilai regangan semakin berkurang. Dalam hal ini terdapat kesamaan antara penelitian tugas akhir ini dengan penelitian Baihaqi.

Tabel IV.6 Data pengujian tarik akibat pengaruh variasi suhu pada *quenching* 90 menit

No plat	Perlakuan	$\sigma_u$ (Mpa)	Faktor perubah $\sigma_u$	$\sigma_y$ (MPa)	Faktor perubah $\sigma_y$	$\epsilon$ (%)	Faktor perubah $\epsilon$
1	Tanpa perlakuan	424.49	1	294.82	1	34.253	1
3	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 90 menit	441.56	1.354	302.2	1.291	35.6	1.039
7	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 90 menit	520.93	1.331	347.58	1.409	32.64	0.953
10	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 90 menit	569.51	1.342	406.1	1.377	27.7	0.809



Gambar IV.11 Hasil pengujian tarik plat dengan perlakuan *quenching* 90 menit



Gambar IV.12 Hasil *elongation* plat dengan perlakuan *quenching* 90 menit

## IV.2 Analisa Pengujian Kekerasan

Pengujian *hardness* ini dilakukan pada material ASTM A36 dengan menggunakan standar BKI Vol. V, Sec. 2-G.2 2012. Dari pengujian *hardness* yang dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh data-data sebagai berikut:

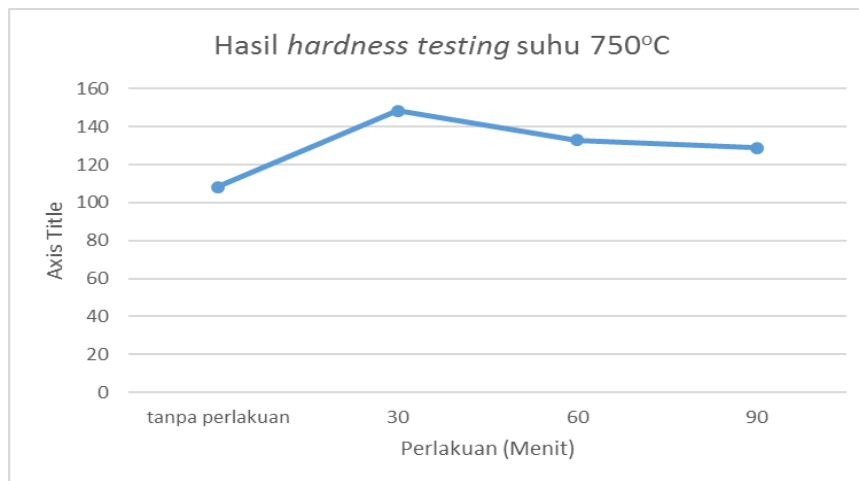
### IV.2.1 Data hasil pengujian *hardness* akibat pengaruh *quenching*

#### 1. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 750°C

Dari hasil pengujian *hardness* (Tabel IV.7) pada suhu 750°C dengan *holding time* selama 120 menit, diperoleh data bahwa nilai *hardness* Vickers tertinggi dimiliki oleh plat nomor 2 (perlakuan 750°C dengan *quenching* 30 menit) dengan nilai HV sebesar 148.3 sedangkan nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 1 (tanpa perlakuan) dengan nilai HV sebesar 108.17.

Tabel IV.7 Data pengujian kekerasan dengan suhu 750°C

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
2	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 30 menit	148.27	1.371
3	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 60 menit	132.93	1.229
4	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 90 menit	128.8	1.191

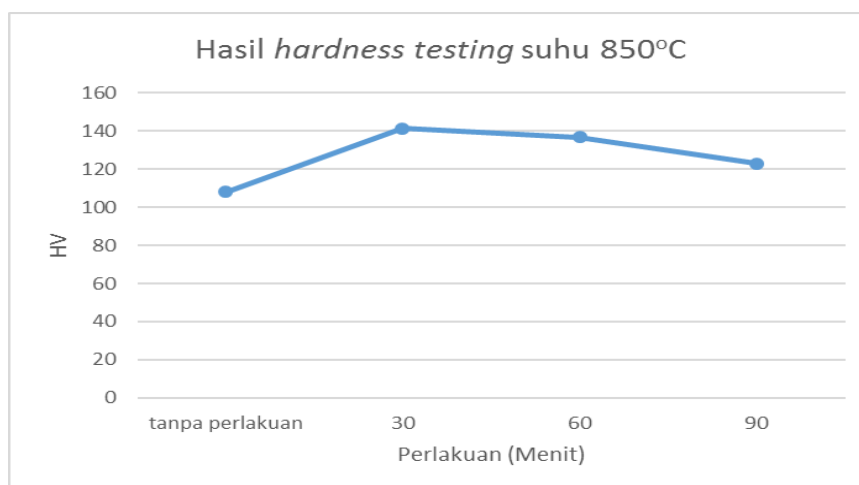


Gambar IV.13 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 750°C

## 2. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 850°C

Tabel IV.8 Data pengujian kekerasan dengan suhu 850°C

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
5	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 30 menit	141.47	1.308
6	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 60 menit	136.67	1.263
7	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 90 menit	122.97	1.137



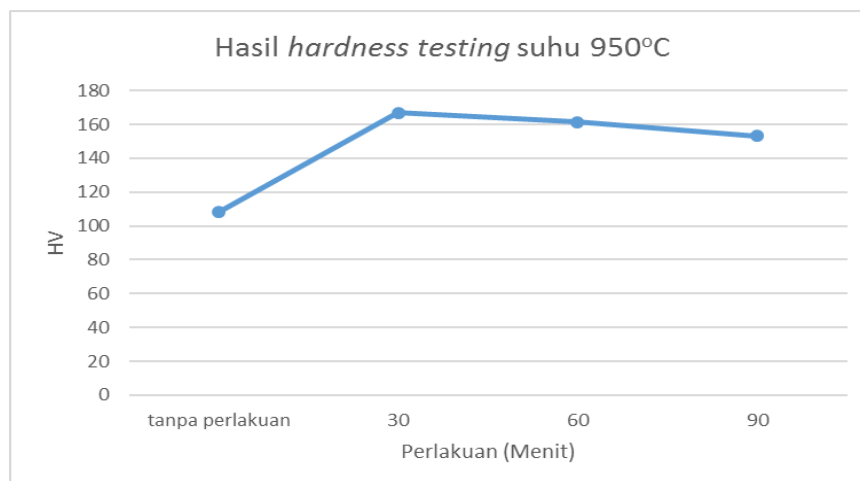
Gambar IV.14 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 850°C

Dari hasil pengujian *hardness* (Tabel IV.8) pada suhu 850°C dengan *holding time* selama 120 menit, diperoleh data bahwa nilai *hardness* Vickers tertinggi dimiliki oleh plat nomor 5 (perlakuan 850°C dengan *quenching* 30 menit) dengan nilai HV sebesar 141.47 sedangkan nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 1 (tanpa perlakuan) dengan nilai HV sebesar 108.17. Namun diantara ketiga plat dengan perlakuan suhu yang sama, nilai HV terendah dimiliki oleh plat nomor 7 dengan besar 122.97

### 3. Pengaruh *cooling rate* pada suhu 950°C

Tabel IV.9 Data pengujian kekerasan dengan suhu 950°C

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
8	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 30 menit	167.07	1.545
9	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 60 menit	161.53	1.493
10	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 90 menit	153.13	1.416



Gambar IV.15 Hasil pengujian kekerasan dengan suhu 950°C

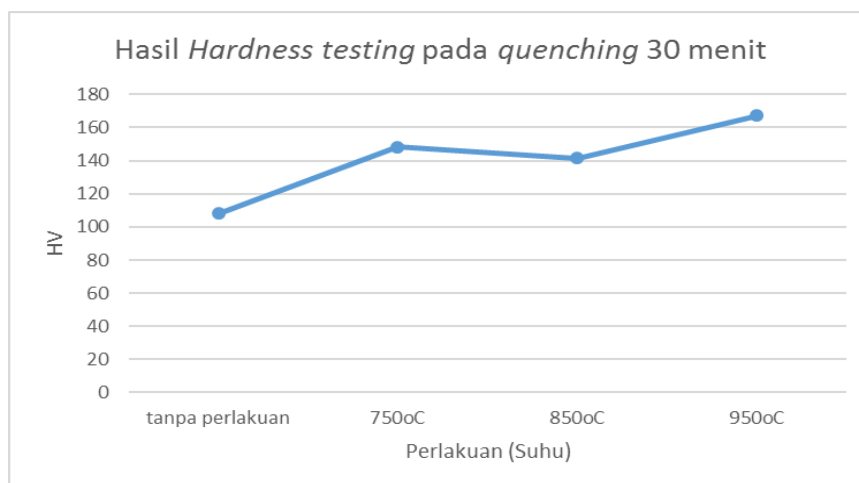
Dari hasil pengujian *hardness* (Tabel IV.9) pada suhu 750°C dengan *holding time* selama 120 menit, diperoleh data bahwa nilai *hardness* Vickers tertinggi dimiliki oleh plat nomor 2 (perlakuan 750°C dengan *quenching* 30 menit) dengan nilai HV sebesar 148.3 sedangkan nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 1 (tanpa perlakuan) dengan nilai HV sebesar 108.17.

#### IV.2.2 Data hasil pengujian *hardness* akibat pengaruh suhu

##### 1. Pengaruh suhu pada *quenching* 30 menit

Tabel IV.10 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh *quenching* 30 menit

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
2	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 30 menit	148.27	1.371
5	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 30 menit	141.47	1.308
8	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 30 menit	167.07	1.545



Gambar IV.16 Hasil *hardness testing* akibat pengaruh waktu *quenching* 30 menit

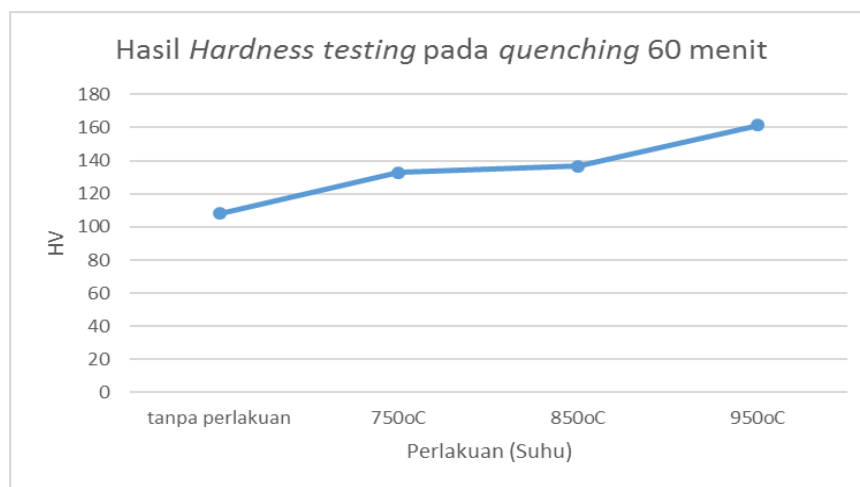
Dari hasil pengujian kekerasan dengan perbandingan waktu *quenching* selama 30 menit, diperoleh bahwa nilai HV tertinggi dimiliki oleh plat nomor 8 (perlakuan 950°C) sebesar 167.07 sedangkan dibandingkan dengan kedua plat dengan perlakuan yang sama, nilai dari nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C) dengan nilai 141.47.

##### 2. Pengaruh suhu pada *quenching* 60 menit

Dari hasil pengujian kekerasan dengan perbandingan waktu *quenching* selama 60 menit, diperoleh bahwa nilai HV tertinggi dimiliki oleh plat nomor 9 (perlakuan 950°C) sebesar 161.53 sedangkan dibandingkan dengan kedua plat dengan perlakuan yang sama, nilai dari nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 3 (perlakuan suhu 750°C) dengan nilai 132.93.

Tabel IV.11 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh *quenching* 60 menit

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
3	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 60 menit	132.93	1.229
6	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 60 menit	136.67	1.263
9	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 60 menit	161.53	1.493

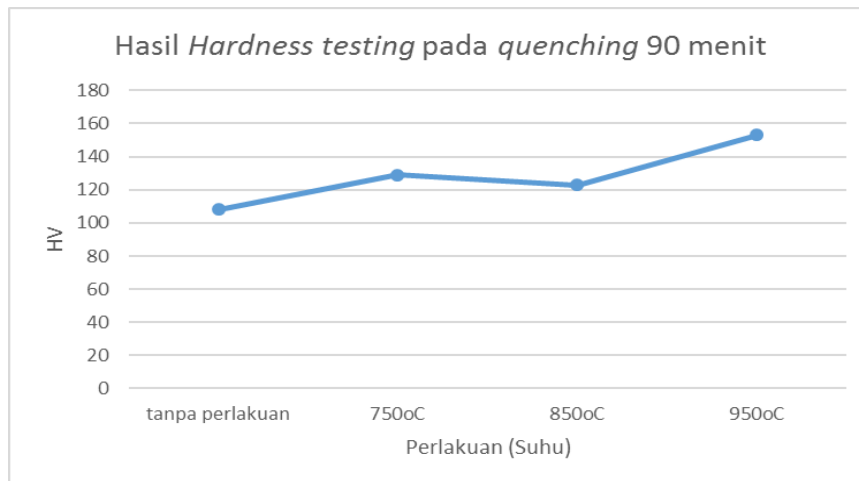


Gambar IV.17 Hasil *hardness testing* akibat pengaruh waktu *quenching* 60 menit

## 2. Pengaruh suhu pada *quenching* 90 menit

Tabel IV.12 Data pengujian kekerasan akibat pengaruh *quenching* 90 menit

No plat	Perlakuan	HV	Faktor perubah HV
1	Tanpa perlakuan	108.17	1
4	Oven suhu 750°C <i>Quenching</i> 90 menit	128.8	1.191
7	Oven suhu 850°C <i>Quenching</i> 90 menit	122.97	1.137
10	Oven suhu 950°C <i>Quenching</i> 90 menit	153.13	1.416



Gambar IV.18 Hasil *hardness testing* akibat pengaruh waktu *quenching* 90 menit

Dari hasil pengujian kekerasan dengan perbandingan waktu *quenching* selama 90 menit, diperoleh bahwa nilai HV tertinggi dimiliki oleh plat nomor 10 (perlakuan 950°C) sebesar 153.13 sedangkan dibandingkan dengan kedua plat dengan perlakuan yang sama, nilai dari nilai terendah dimiliki oleh plat nomor 7 ( perlakuan suhu 850°C) dengan nilai 122.97.

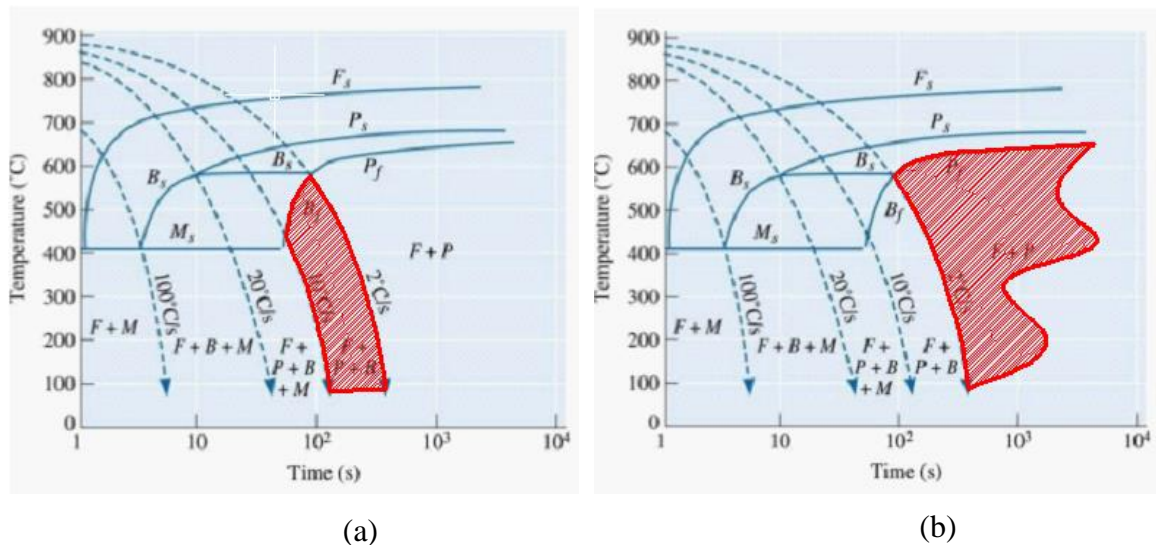
### IV.3 Hasil Struktur Mikro

Tabel IV.13 Data laju pendinginan setiap plat

No Plat	Perlakuan	Laju Pendinginan (°C/det)
1	Tanpa Perlakuan	-
2	Oven Suhu 750°C <i>Quenching</i> 30 menit	1.947
3	Oven Suhu 750°C <i>Quenching</i> 60 menit	1.836
4	Oven Suhu 750°C <i>Quenching</i> 90 menit	1.222
5	Oven Suhu 850°C <i>Quenching</i> 30 menit	2.186
6	Oven Suhu 850°C <i>Quenching</i> 60 menit	2.156
7	Oven Suhu 850°C <i>Quenching</i> 90 menit	1.428
8	Oven Suhu 950°C <i>Quenching</i> 30 menit	4.9006
9	Oven Suhu 950°C <i>Quenching</i> 60 menit	3.5625
10	Oven Suhu 950°C <i>Quenching</i> 90 menit	1.9639

Pada penelitian ini diperoleh bahwa kecepatan pendinginan plat paling tinggi adalah plat nomor 8 yaitu perlakuan panas 950°C dengan lama *quenching* 30 menit dengan laju pendinginan 4.9°C/det. Kecepatan pendinginan yang diambil adalah kecepatan pendinginan kritis yaitu pada penurunan suhu tercepat sampai ke suhu stabil saat perlakuan pendinginan menggunakan air laut. Data laju pendinginan tiap plat ditunjukkan dengan Tabel IV. 13.

Berdasarkan Tabel IV.13 komposisi struktur mikro material yang terbentuk ditunjukkan pada area yang diarsir merah pada Gambar IV.19.



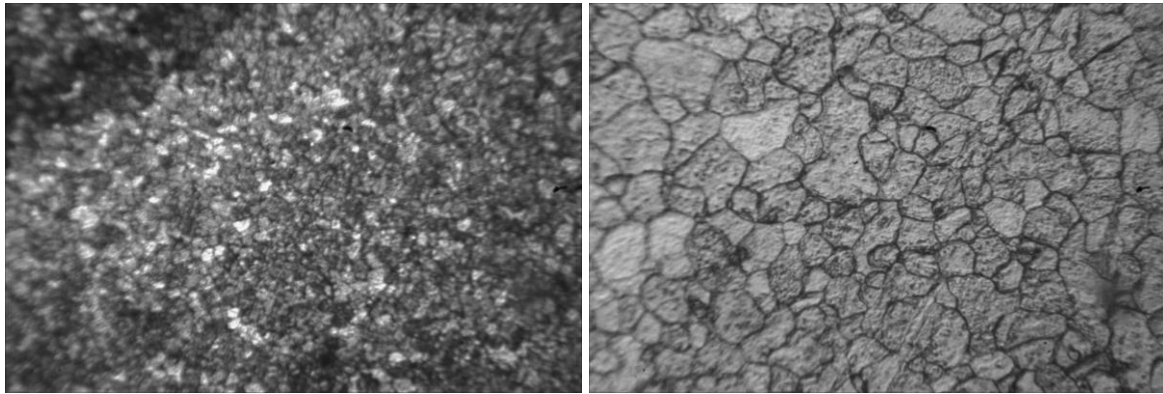
Gambar IV.19 Area plat dengan laju pendinginan (a) dibawah 2°C/det (b) diatas 2°C/det

Pada plat nomor 8 dan 9 mulai terbentuk *bainite* karena pada Gambar IV.20 menunjukkan bahwa plat tersebut melalui fase  $B_s$  (*bainite start*) dan  $B_f$  (*bainite finish*) artinya dengan laju pendinginan 4.9°C/det dan 3.5°C/det mulai terbentuk *bainite* stabil. Namun pada plat lainnya tidak menunjukkan adanya *bainite* karena diagram CCT tidak memotong fase  $B_s$  dan  $B_f$ .

### IV.3.1 Hasil Struktur Mikro Tanpa Perlakuan

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 1 (tanpa perlakuan) menghasilkan struktur *ferrite* yang halus (berwarna putih terang) dan *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.20 dengan nilai persentase *pearlite* sebesar 66% dan *ferrite* sebesar 34%.





(a)

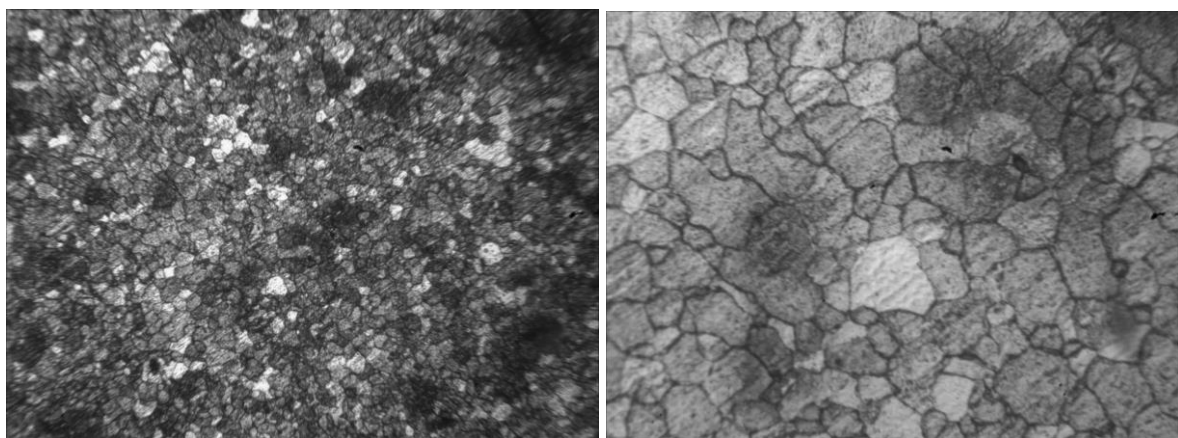
(b)

Gambar IV.20 Struktur mikro pada plat nomor 1 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

### IV.3.2 Hasil Struktur Mikro dengan Perlakuan *Quenching*

#### 1. Suhu 750°C dengan *quenching* 30 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 2 (suhu 750°C dengan *quenching* 30 menit) menghasilkan butiran *ferrite* yang halus (berwarna putih terang) dan butiran *pearlite* yang halus (berwarna gelap) serta lebih dominan dengan persentase sebesar 71% daripada butiran *ferrite* yang memiliki persentase 29% karena laju pendinginan yang cukup tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.21.

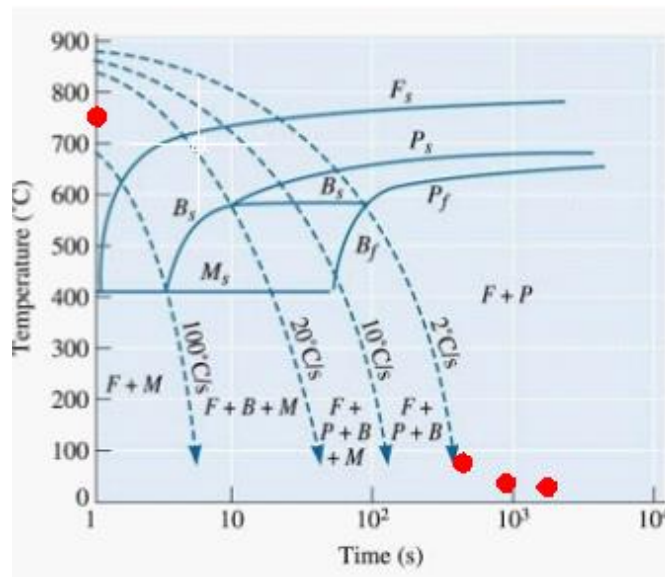


(a)

(b)

Gambar IV.21 Struktur mikro pada plat nomor 2 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

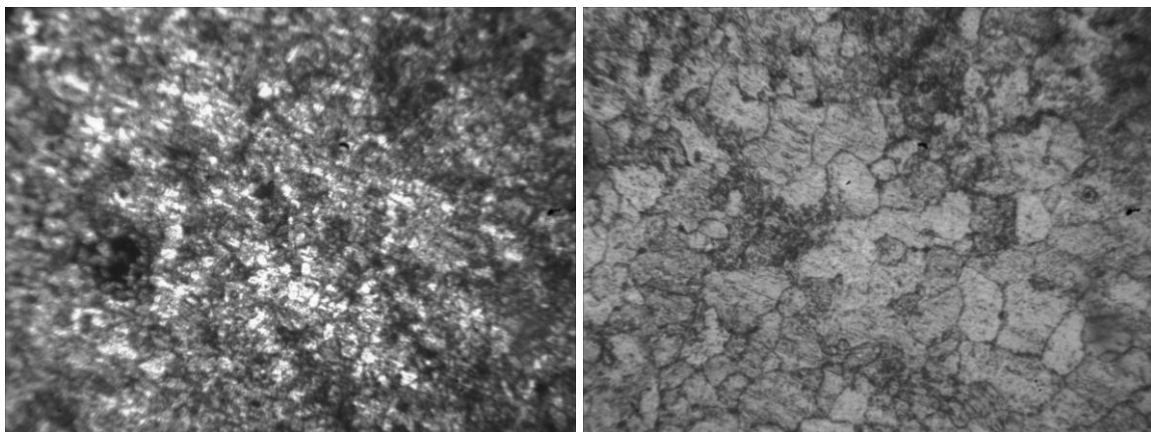
Gambar IV.22 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 1.95°C/det.



Gambar IV.22 Posisi akhir akibat pendinginan plat nomor 2 ditunjukkan pada titik merah

## 2. Suhu 750°C dengan *quenching* 60 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 3 (suhu 750°C dengan *quenching* 60 menit) menghasilkan butiran *ferrite* yang halus (berwarna putih terang) dengan persentase jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan plat nomor 2 yaitu sebesar 39% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dengan persentase jumlah sebesar 61% akibat pengaruh laju pendinginan seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.23.

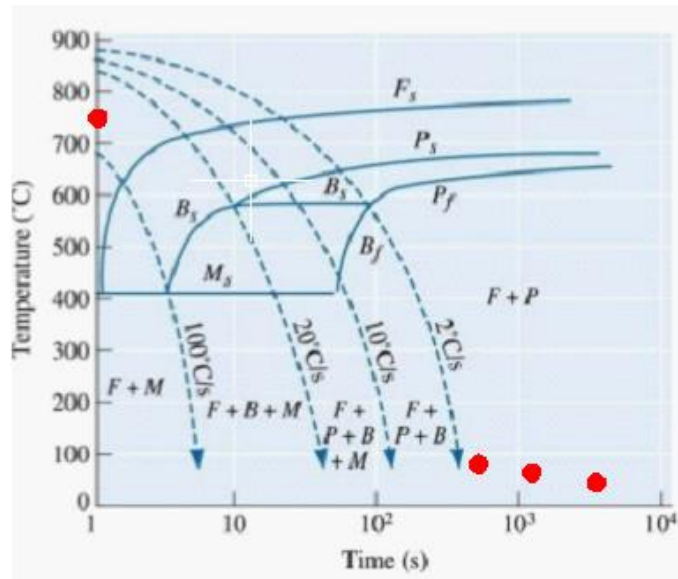


(a)

(b)

Gambar IV.23 Struktur mikro pada plat nomor 3 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

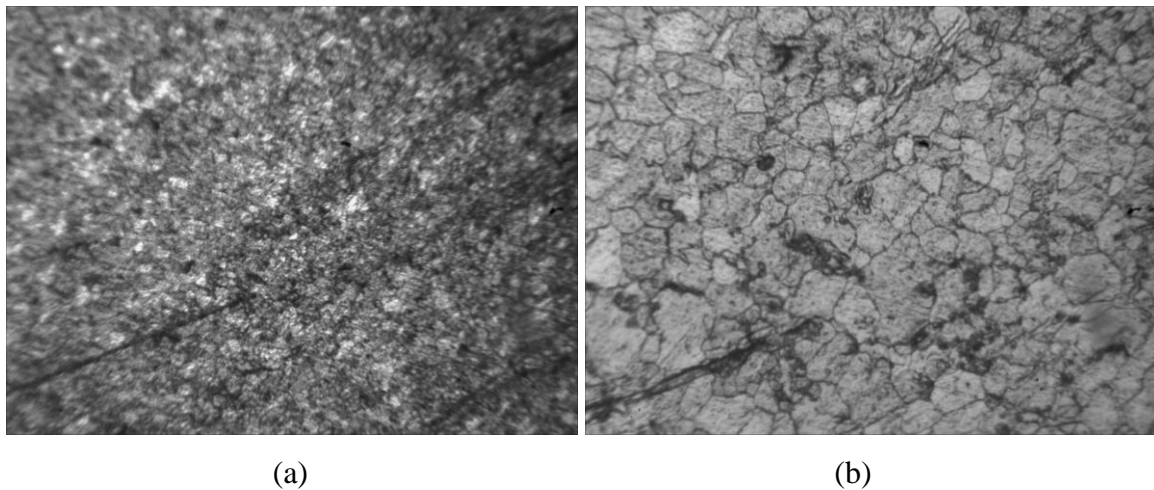
Gambar IV.24 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 1.84°C/det.



Gambar IV.24 Ploting laju pendinginan plat nomor 3 ditunjukkan pada titik merah

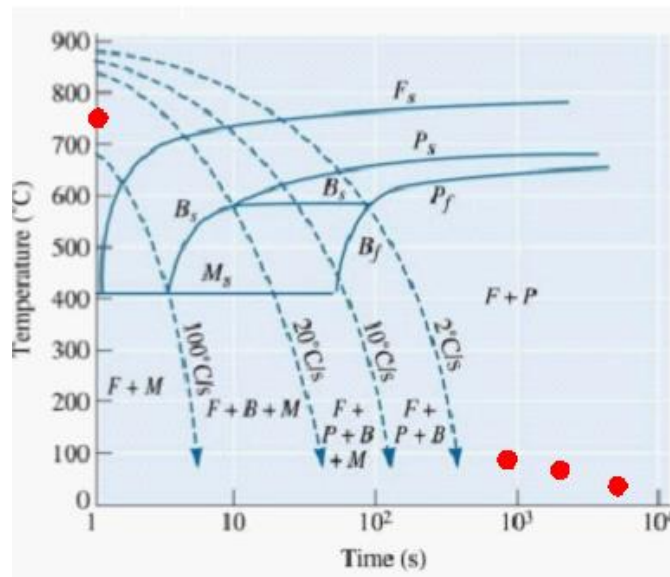
### 3. Suhu 750°C dengan *quenching* 90 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 4 (suhu 750°C dengan *quenching* 90 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang halus dengan persentase jumlah sebesar 39.44% dan butiran *pearlite* yang halus (berwarna gelap) dengan persentase jumlah sebesar 60.56% akibat laju pendinginan seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.25.



Gambar IV.25 Struktur mikro pada plat nomor 4 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

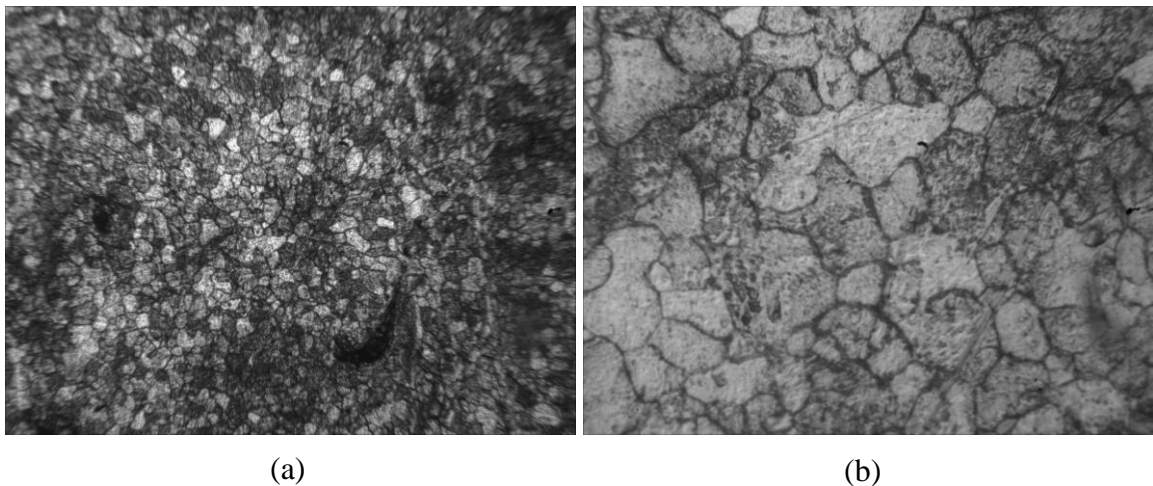
Gambar IV.26 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan awal 1.22°C/det.



Gambar IV.26 Ploting laju pendinginan plat nomor 4 ditunjukkan pada titik merah

#### 4. Suhu 850°C dengan *quenching* 30 menit

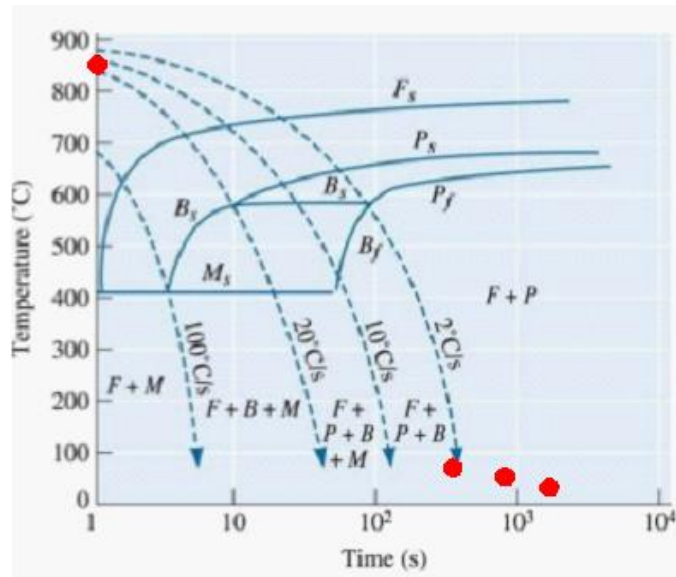
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 5 (suhu 850°C dengan *quenching* 30 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 35.44% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dengan persen jumlah sebesar 64.56% akibat laju pendinginan seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.27.



Gambar IV.27 Struktur mikro pada plat nomor 5 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

Gambar IV.28 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 2.19°C/det.

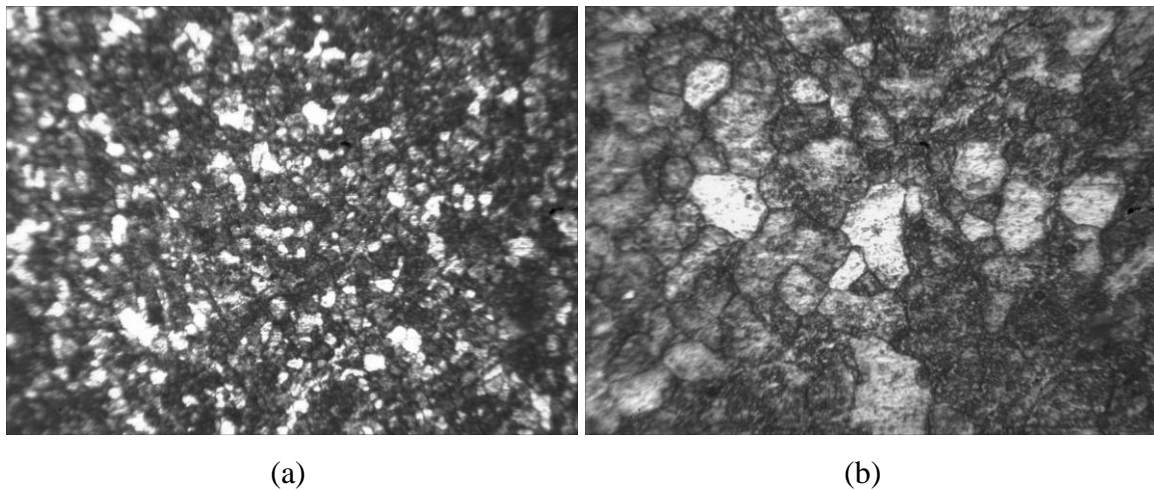




Gambar IV.28 Ploting laju pendinginan plat nomor 5 ditunjukkan pada titik merah

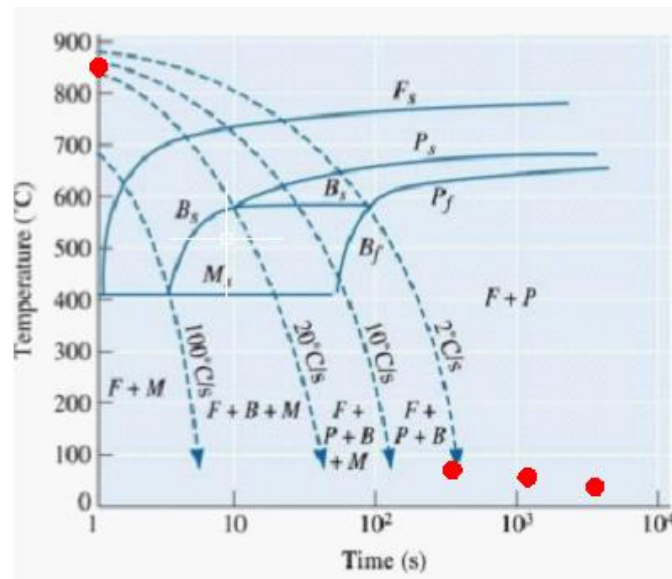
##### 5. Suhu 850°C dengan *quenching* 60 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 6 (suhu 850°C dengan *quenching* 60 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 41.33% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dengan persen jumlah sebesar 58.67% akibat laju pendinginan seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.29.



Gambar IV.29 Struktur mikro pada plat nomor 6 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

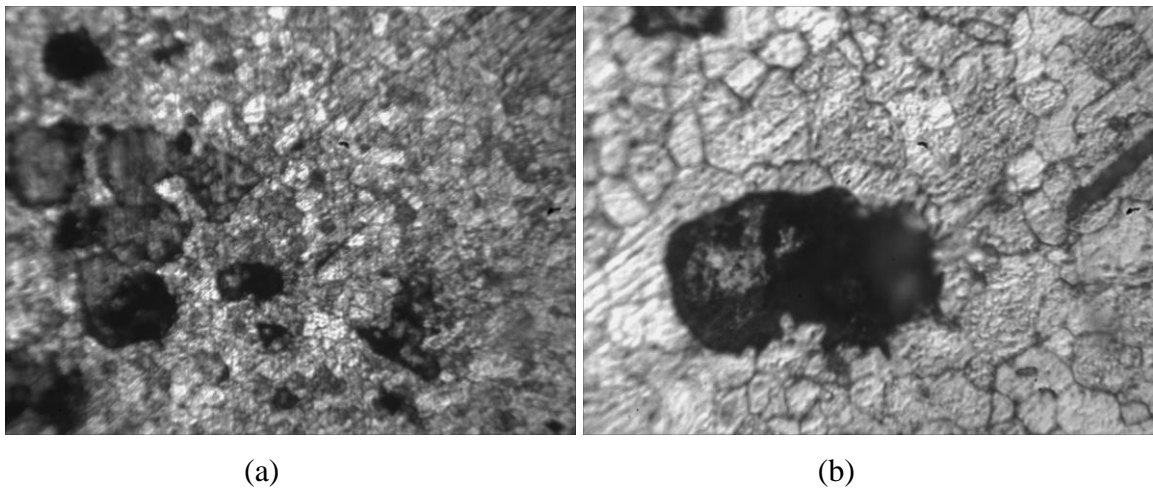
Gambar IV.30 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 2.16°C/det.



Gambar IV.30 Ploting laju pendinginan plat nomor 6 ditunjukkan pada titik merah

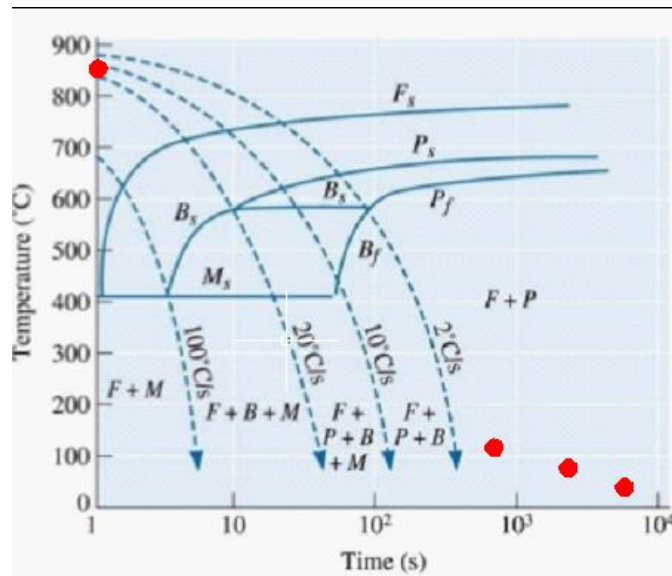
#### 6. Suhu 850°C dengan *quenching* 90 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 7 (suhu 850°C dengan *quenching* 90 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 50.29% dan butiran *pearlite* yang halus (berwarna gelap) dengan persen jumlah sebesar 49.71% yang ditunjukkan pada Gambar IV.31.



Gambar IV.31 Struktur mikro pada plat nomor 7 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

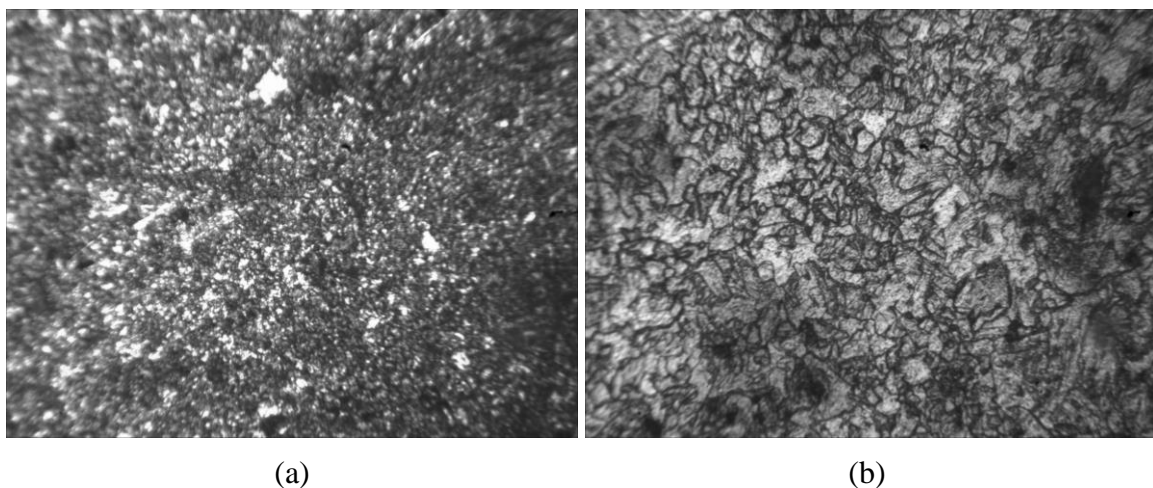
Gambar IV.32 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 1.43°C/det.



Gambar IV.32 Ploting laju pendinginan plat nomor 7 ditunjukkan pada titik merah

#### 7. Suhu 950°C dengan *quenching* 30 menit

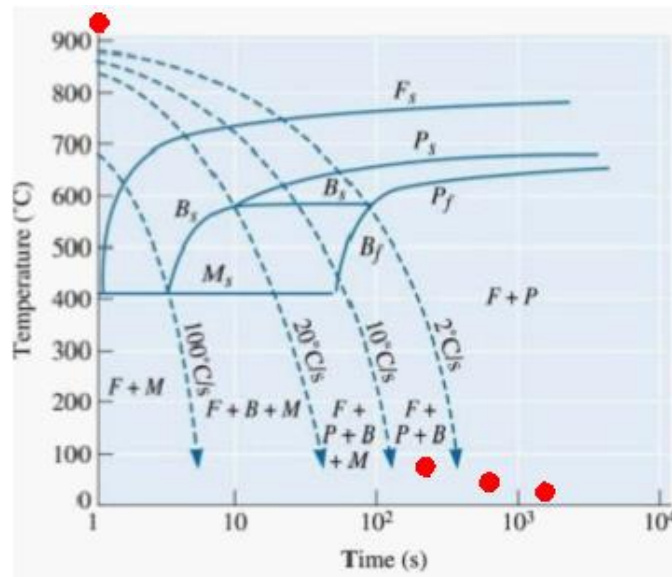
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 8 (suhu 950°C dengan *quenching* 30 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 36.6% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dengan persen jumlah sebesar 63.4% akibat laju pendinginan serta terlihat banyak garis-garis kasar seperti serat yang merupakan *bainite* dalam jumlah yang cukup banyak seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.33.



Gambar IV.33 Struktur mikro pada plat nomor 8 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

Gambar IV.34 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 4.90°C/det.

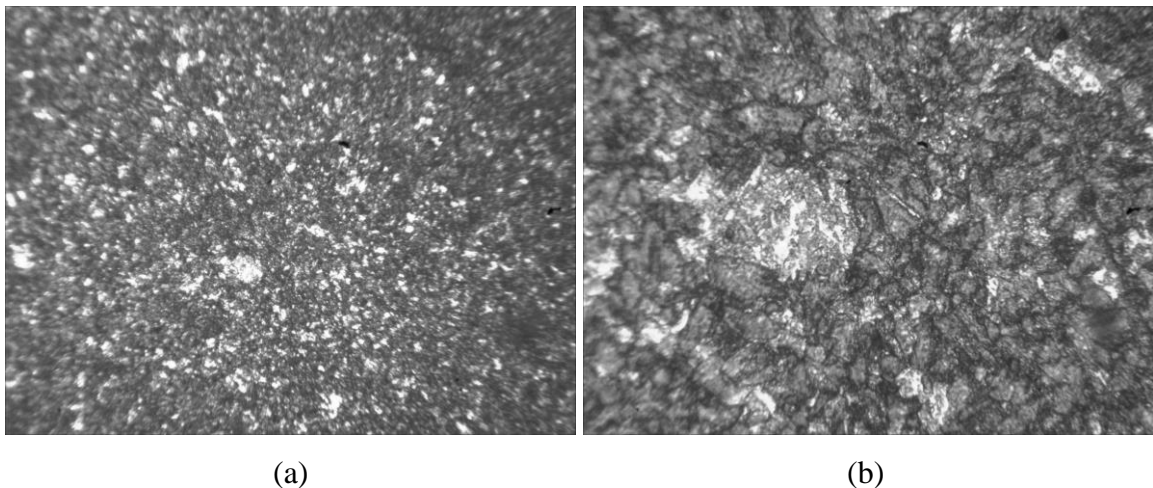




Gambar IV.34 Ploting laju pendinginan plat nomor 8 ditunjukkan pada titik merah

#### 8. Suhu 950°C dengan *quenching* 60 menit

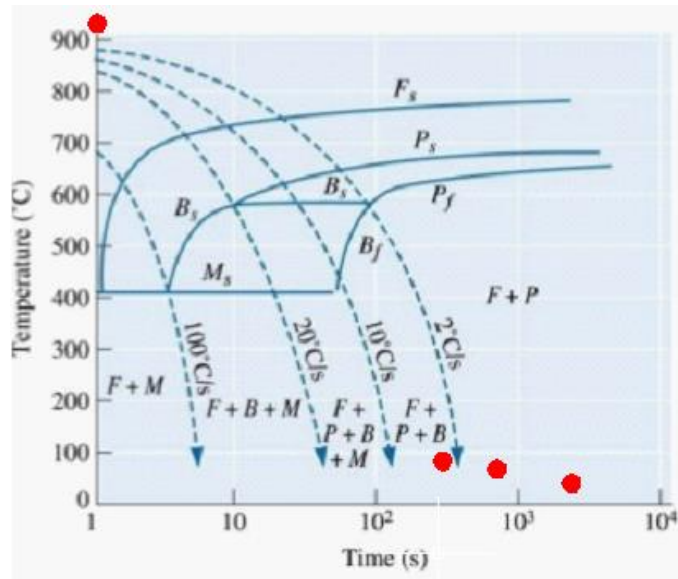
Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 9 (suhu 950°C dengan *quenching* 60 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 41.9% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dengan persen jumlah sebesar 58.1%, tidak sebanyak pada plat 8 akibat suhu dan perbedaan laju pendinginan serta tampak serat-serat halus pada batas butir yang merupakan *bainite* namun tidak sebanyak dan sejelas pada plat nomor 8 seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.35.



Gambar IV.35 Struktur mikro pada plat nomor 9 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

Gambar IV.36 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 3.56°C/det.

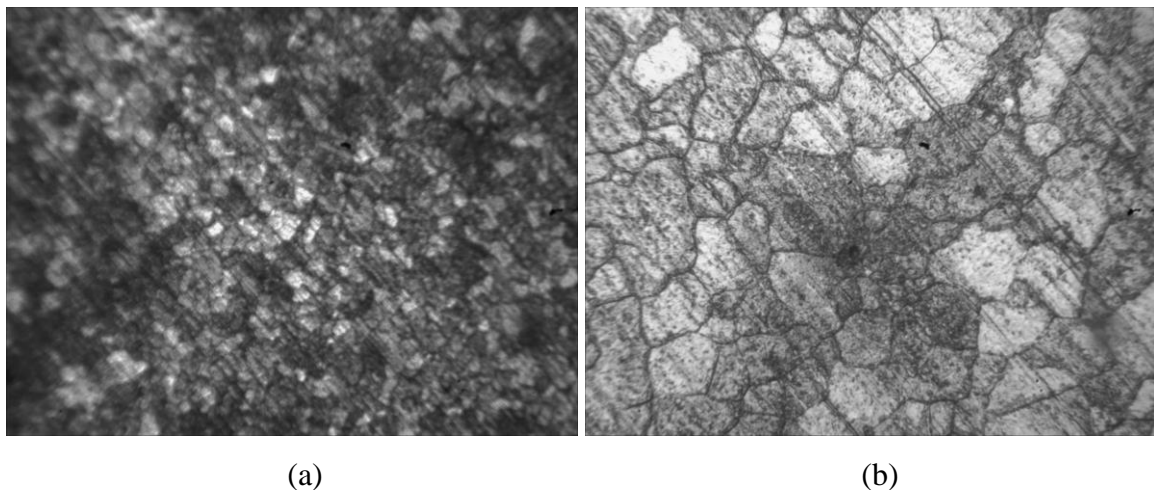




Gambar IV.36 Ploting laju pendinginan plat nomor 9 ditunjukkan pada titik merah

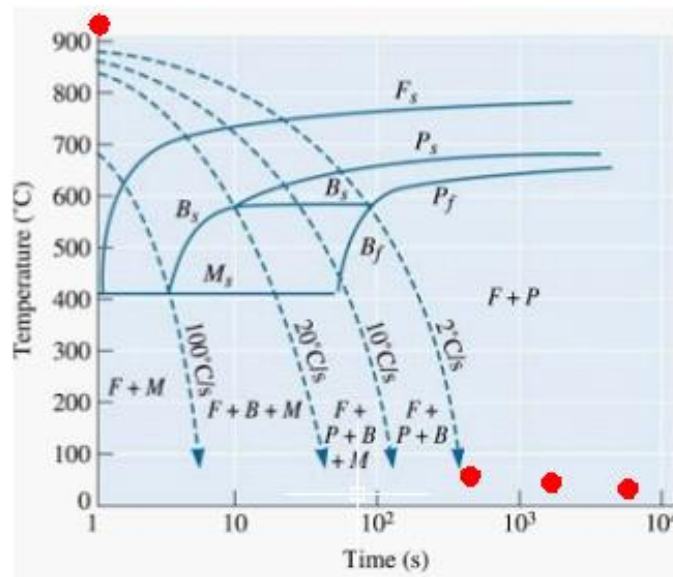
#### 9. Suhu 950°C dengan *quenching* 90 menit

Hasil pengamatan struktur mikro pada plat nomor 10 (suhu 950°C dengan *quenching* 90 menit) menghasilkan butiran *ferrite* (berwarna putih terang) yang kasar dengan persen jumlah sebesar 42.11% dan butiran *pearlite* yang kasar (berwarna gelap) dan besar-besar dengan persen jumlah sebesar 57.89%, tidak sebanyak pada plat 8 akibat suhu dan perbedaan laju pendinginan seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.37.



Gambar IV.37 Struktur mikro pada plat nomor 10 (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 400x

Gambar IV.38 menunjukkan struktur material yang terbentuk akibat pendinginan dengan kecepatan 1.96°C/det.



Gambar IV.38 Ploting laju pendinginan plat nomor 10 ditunjukkan pada titik merah

#### IV.4 Perhitungan Besar Butir

Tabel IV.14 Perhitungan Metalografi Besar Diameter Butir

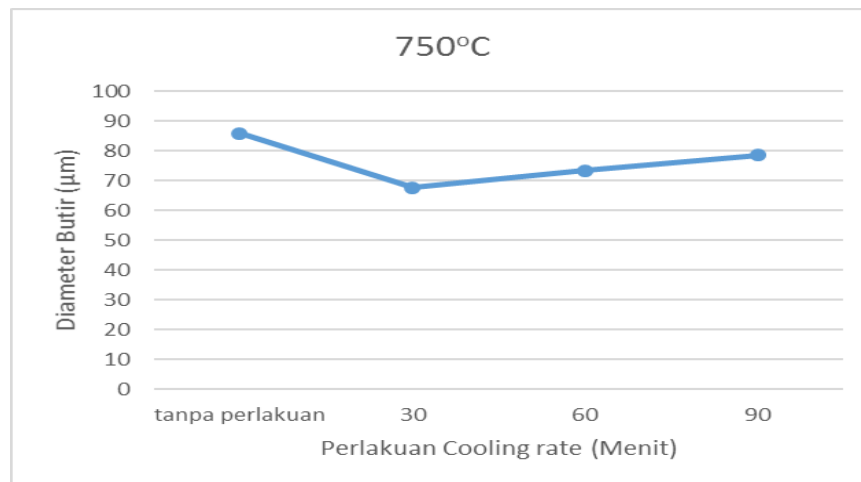
No plat	Perlakuan	G	D( $\mu\text{m}$ )
1	Tanpa perlakuan	4.133	85.986
2	Oven Suhu 750°C <i>quenching</i> 30 menit	4.827	67.655
3	Oven Suhu 750°C <i>quenching</i> 60 menit	4.585	73.465
4	Oven Suhu 750°C <i>quenching</i> 90 menit	4.394	78.518
5	Oven Suhu 850°C <i>quenching</i> 30 menit	5.297	57.483
6	Oven Suhu 850°C <i>quenching</i> 60 menit	5.017	63.158
7	Oven Suhu 850°C <i>quenching</i> 90 menit	4.505	75.377
8	Oven Suhu 950°C <i>quenching</i> 30 menit	6.005	44.832
9	Oven Suhu 950°C <i>quenching</i> 60 menit	5.816	48.021
10	Oven Suhu 950°C <i>quenching</i> 90 menit	5.508	53.254

Perhitungan besar butir dilakukan dengan mengolah data hasil metalografi pada baja tanpa perlakuan dan juga pada baja dengan perlakuan dengan waktu tahan dan variasi *quenching*

dengan air laut. Perhitungan besar butir ini dilakukan dengan menggunakan metode Jeffries yang telah dijelaskan pada Bab II. Hasil perhitungan besar diameter butir dapat dilihat pada Tabel IV.14.

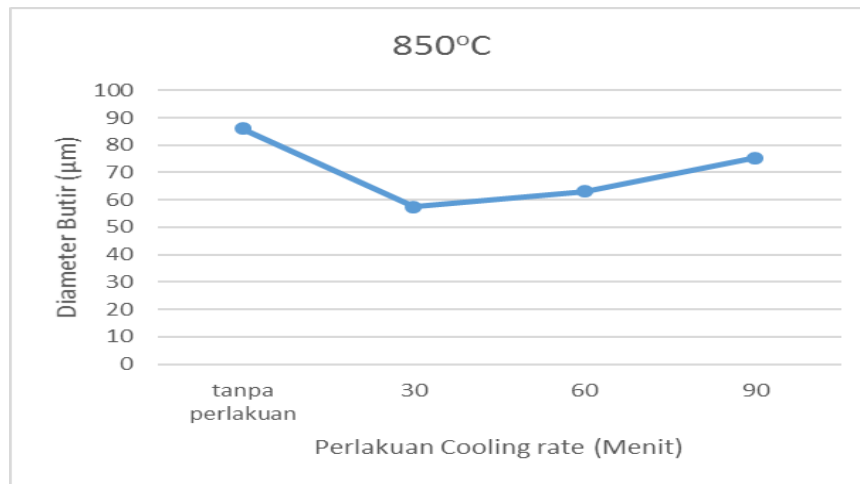
#### IV.4.1 Perhitungan Besar Diameter Butir akibat pengaruh *Quenching*

Hasil dari pengukuran besar butir diplotkan pada grafik Gambar IV.39



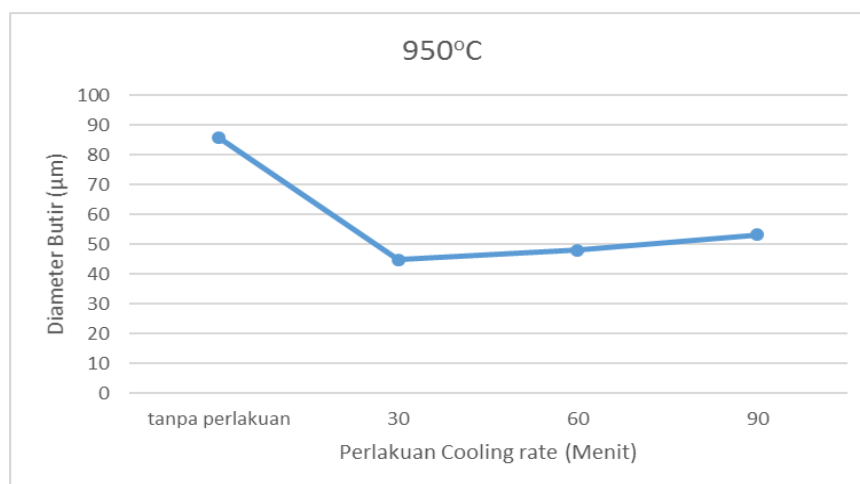
Gambar IV.39 Grafik besar diameter butir pada suhu 750°C akibat pengaruh *quenching*

Pada suhu 750°C plat dengan ukuran diameter terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan besar butir 85.986 µm dan yang terkecil dimiliki oleh plat nomor 2 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* 30 menit. Nilai dari plat nomor 2 adalah sebesar 67.655 µm. Lalu pada grafik suhu 750°C dilihat bahwa pada setiap plat dengan treatment *quenching* mengalami kenaikan besar butir. Hal ini terjadi karena adanya variasi laju pendinginan plat. Saat plat keluar dari *oven*, butiran plat semakin besar karena semakin tinggi suhu pemanasan maka kekuatan plat semakin rendah, namun karena perlakuan *quenching* butiran plat yang besar-besar mengecil dengan seketika menyebabkan material menjadi bersifat lebih ulet. Plat nomor 4 memiliki nilai besar butir yang mendekati plat tanpa treatment seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.40, hal ini disebabkan karena pengaruh lingkungan (air) yang juga ikut memanaskan akibat *quenching*. Ada *heat transfer* yang terjadi dari plat ke air menyebabkan temperatur air meningkat dan memberikan waktu untuk butir plat menyesuaikan dengan lingkungan (semakin memanaskan maka akan semakin membesar).



Gambar IV.40 Grafik besar diameter butir pada suhu 850°C akibat pengaruh *quenching*

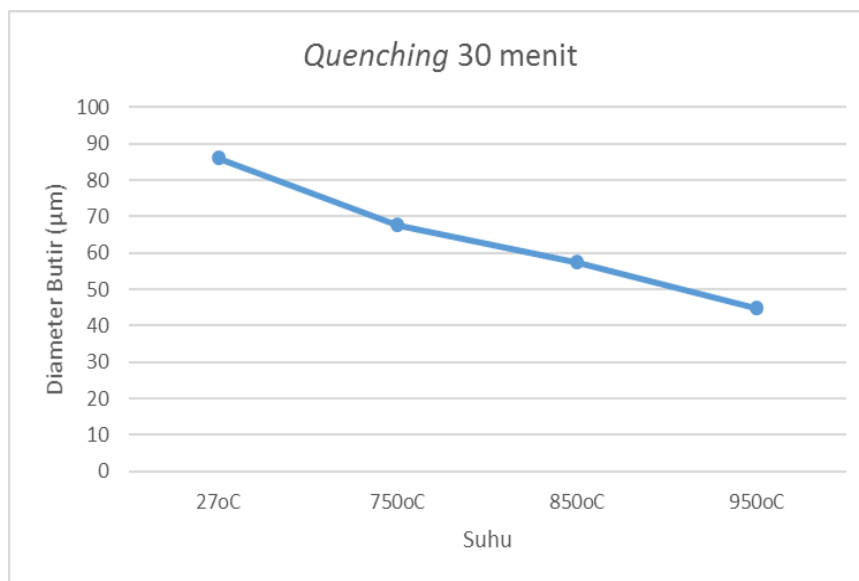
Pada suhu 850°C plat dengan ukuran diameter terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan besar butir 85.986  $\mu\text{m}$  dan yang terkecil dimiliki oleh plat nomor 5 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* 30 menit. Nilai dari plat nomor 5 adalah sebesar 57.483  $\mu\text{m}$ . Lalu pada Gambar IV.40 dilihat bahwa pada setiap plat dengan treatment *quenching* mengalami kenaikan besar butir. Hal ini terjadi karena adanya variasi laju pendinginan plat. Saat plat keluar dari *oven*, butiran plat semakin besar karena semakin tinggi suhu pemanasan maka kekuatan plat semakin rendah dan semakin ulet, namun karena perlakuan *quenching* butiran plat yang besar-besar mengecil dengan seketika menyebabkan material menjadi bersifat lebih keras dan lebih ulet. Plat nomor 7 memiliki besar butir yang semakin membesar seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.40. hal ini disebabkan karena pengaruh lingkungan (air) yang juga ikut memanaskan akibat *quenching*. Fenomena yang serupa pada plat dengan perlakuan panas 750°C.



Gambar IV.41 Grafik besar diameter butir pada suhu 950°C akibat pengaruh *quenching*

Pada suhu 950°C plat dengan ukuran diameter terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan besar butir 85.986  $\mu\text{m}$  dan yang terkecil dimiliki oleh plat nomor 8 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* 30 menit. Nilai dari plat nomor 5 adalah sebesar 57.483  $\mu\text{m}$ . Lalu pada Gambar IV.41 dilihat bahwa pada setiap plat dengan treatment *quenching* mengalami kenaikan besar butir. Hal ini terjadi karena adanya variasi laju pendinginan plat. Saat plat keluar dari *oven*, butiran plat semakin besar karena semakin tinggi suhu pemanasan maka kekuatan plat semakin rendah dan semakin ulet, namun karena perlakuan *quenching* butiran plat yang besar-besar mengecil dengan seketika menyebabkan material menjadi bersifat lebih keras dan lebih ulet. Plat nomor 10 memiliki besar butir yang semakin membesar seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.41. hal ini disebabkan karena pengaruh lingkungan (air) yang juga ikut memanaskan akibat *quenching*. Fenomena yang serupa pada plat dengan suhu pemanasan 750°C dan 850°C.

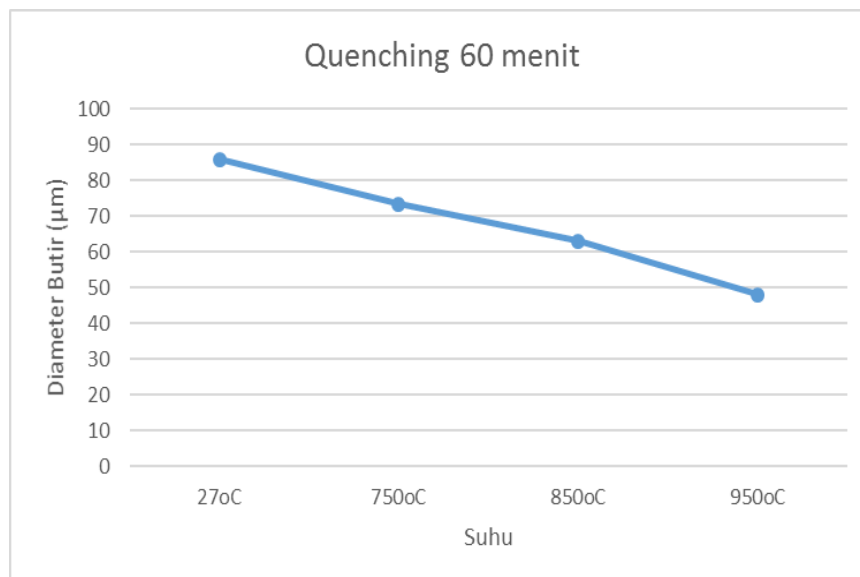
#### IV.4.2 Perhitungan Besar Diameter Butir Akibat pengaruh Suhu



Gambar IV.42 Grafik besar diameter butir akibat pengaruh suhu

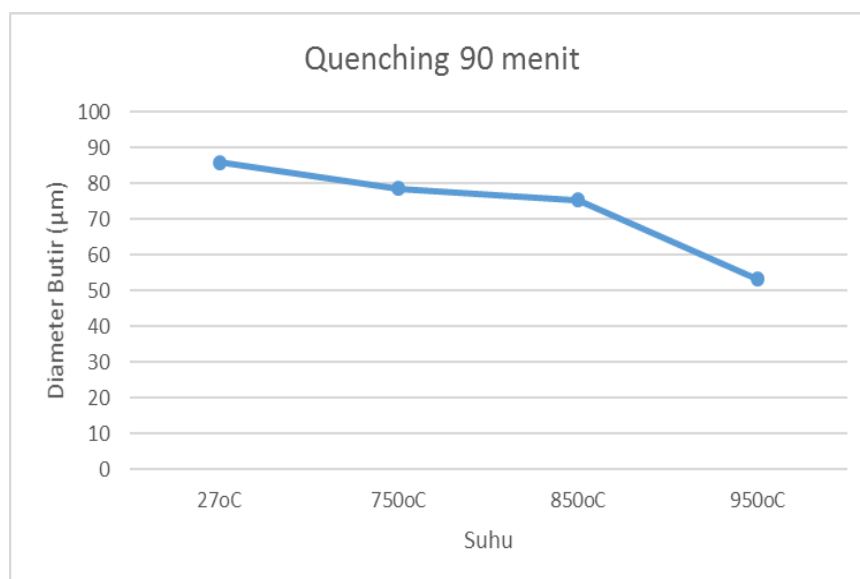
Pada perlakuan *quenching* 30 menit diameter butir terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan diameter sebesar 85.986  $\mu\text{m}$  dan diameter butir terkecil dimiliki oleh plat dengan suhu 950°C yaitu plat nomor 8 (lihat Tabel IV.14 dan Gambar IV.42). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pendinginan maka semakin kecil diameter butir yang dimiliki oleh suatu material. Tingginya laju pendinginan ditunjukkan dengan suhu awal pendinginan dan waktu tempuh yang harus dilalui oleh plat untuk mencapai suhu ruang yakni

dalam waktu 30 menit, dan dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai laju tertinggi dimiliki oleh plat dengan suhu awal *quenching* 950°C.



Gambar IV.43 Grafik besar diameterbutir akibat pengaruh suhu

Hal yang serupa juga diterjadi pada perlakuan *quenching* 60 menit, diameter butir terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan diameter sebesar 85.986 µm dan diameter butir terkecil dimiliki oleh plat dengan suhu 950°C yaitu plat nomor 9 (lihat Tabel IV.14 dan Gambar IV.43) dengan diameter butir sebesar 48.021 µm.



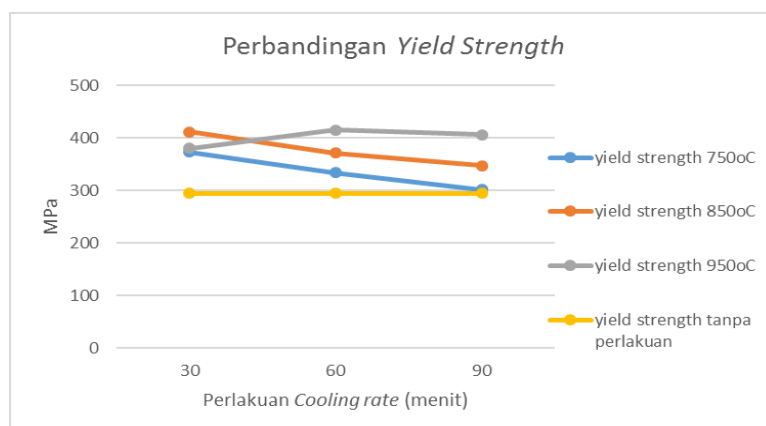
Gambar IV.44 Perhitungan besar diameter butir akibat pengaruh suhu

Pada perlakuan *quenching* 90 menit diameter butir terbesar dimiliki oleh plat nomor 1 yaitu plat tanpa perlakuan dengan diameter sebesar 86.986  $\mu\text{m}$  dan diameter butir terkecil dimiliki oleh plat dengan suhu 950°C yaitu plat nomor 10 (lihat Tabel IV.14 dan Gambar IV.44) dengan ukuran butir sebesar 53.254  $\mu\text{m}$ . Besar diameter butir plat nomor 7 yaitu perlakuan suhu 850°C dengan waktu *quenching* 90 menit memiliki besar yang hampir sama dengan besar diameter plat nomor 4 yaitu perlakuan suhu 750°C dengan waktu *quenching* 90 menit. Hal ini terjadi karena pengaruh dari lingkungan (air) yang digunakan untuk mendinginkan material. Karena lamanya waktu penurunan suhu, menyebabkan adanya kemungkinan untuk butir material mengalami pembesaran lagi akibat *heat transfer* suhu material terhadap air yang masih relative tinggi ( $\pm 70^\circ\text{C}$ ).

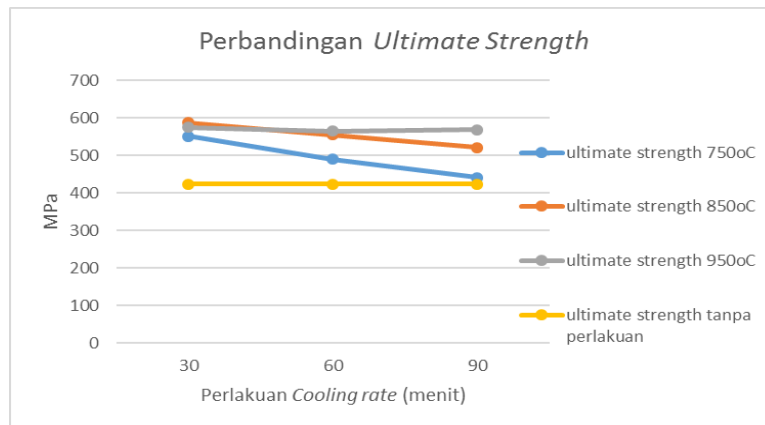
#### IV.5 Analisa Hasil Keseluruhan Pengujian

Tabel IV.15 Rekapitulasi hasil seluruh pengujian

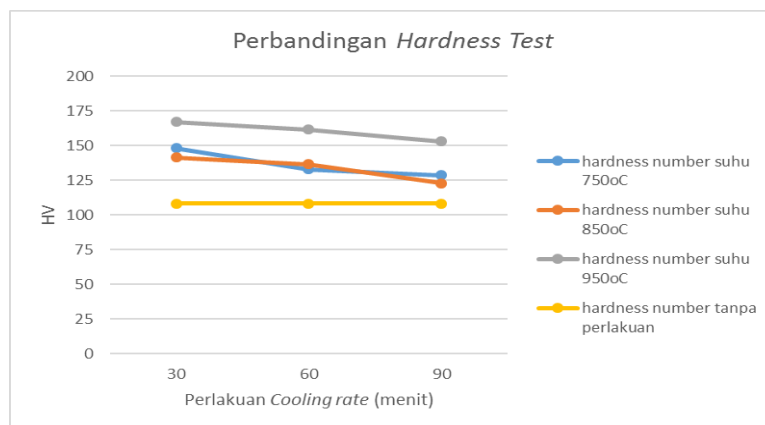
No Plat	Uji Tarik			Uji kekerasan			d( $\mu\text{m}$ )
	YIELD STRESS	ULT. STRESS	Regangan (%)	Diameter Min	Diameter max	HV	
1	294.817	424.494	34.253	104.0	112.3	108.167	85.98621
2	373.543	551.658	23.260	143.0	152.1	148.267	67.65576
3	334.234	490.395	33.12	129.6	135.4	132.933	73.46521
4	302.199	441.563	35.600	127.4	130.0	128.800	78.51836
5	411.529	587.511	28.713	137.1	146.9	141.467	57.48292
6	371.354	555.009	25.880	131.4	140.7	136.667	63.15828
7	347.580	520.931	32.640	121.4	123.9	122.967	75.37755
8	380.501	574.566	29.193	160.7	177.2	167.067	44.83182
9	415.633	565.088	26.733	158.5	166.5	161.533	48.02123
10	406.097	569.514	27.713	148.2	157.2	153.133	53.2536



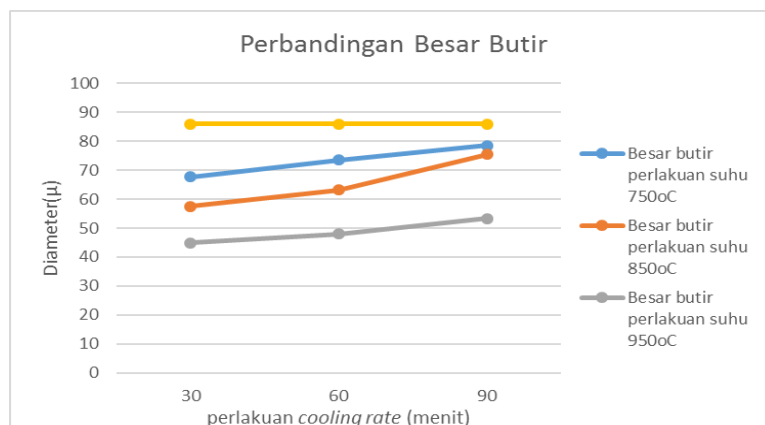
Gambar IV.45 Grafik perbandingan nilai *yield strength* ASTM A36



Gambar IV.46 Grafik perbandingan nilai *ultimate strength* ASTM A36



Gambar IV.47 Grafik perbandingan *hardness number* ASTM A36



Gambar IV.48 Grafik perbandingan besar butir ASTM A36

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, tersajikan data hasil pengujian masing-masing. Untuk itu diperlukan analisa keseluruhan data dari setiap hasil pengujian tersebut untuk membandingkan secara langsung yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel IV.15.

Korelasi antara kuat tarik nilai kekerasan dan struktur mikro dari material seperti yang ditunjukkan dalam Gambar IV.45, Gambar IV.46, dan Gambar IV.47 terhadap pengaruh waktu *quenching* dan pengaruh suhu, diperoleh bahwa semakin lama proses *quenching* yang diberikan



maka nilai kuat tarik semakin melemah, begitu pula dengan nilai kekerasan. Penurunan nilai kekuatan pada material disebabkan struktur mikro memiliki butiran yang halus dan membesar untuk setiap perlakuan *quenching* dari 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Lama perlakuan *quenching* dapat mempengaruhi ukuran dari diameter butir struktur mikronya. Semakin lama perlakuan *quenching* maka diameter yang terbentuk akan lebih besar daripada perlakuan yang waktunya lebih singkat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar IV.48. Pada suhu 750°C diperoleh hasil nilai *yield stress* tertinggi dimiliki oleh plat nomor 2 yaitu plat dengan perlakuan *quenching* selama 30 menit, nilai *yield stress* merupakan nilai maksimal kemampuan material untuk kembali ke bentuknya semula (elastis). Pada struktur mikro yang dimiliki oleh plat nomor 2 pada perbesaran 400x material lebih dominan *pearlite* terlihat dari warna yang cenderung lebih gelap dibandingkan dengan plat nomor 2. Banyaknya kandungan *pearlite* membuat material menjadi lebih keras dan nilai elastisitas material lebih rendah karena pada *pearlite* terkandung unsur karbon yang tinggi akibat proses austenisasi.

Pada pengujian suhu 850°C dihasilkan bahwa nilai dari *tensile strength*, *hardness*, dan foto mikro menunjukkan kesesuaian antara satu dengan yang lain, semakin lama perlakuan *quenching* membuat material semakin lemah. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan dari material yang tinggi membuat material semakin keras dan lebih getas dibandingkan dengan yang laju pendinginannya rendah. Selain itu, adanya pengaruh lingkungan perendaman (suhu air) yang membuat diameter butir mempertahankan ukurannya karena penurunan laju pendinginan setelah suhu material mencapai titik setimbang dengan suhu medium pendingin yaitu air. Setelah itu pendinginan berjalan lebih lambat dibandingkan dengan pencelupan pertama setelah keluar dari *oven*. Namun dibandingkan dengan suhu 750°C, nilai kekuatan dari material ini masih lebih tinggi. Dari nilai kekerasannya, Nampak bahwa semakin besar diameter butir dari material maka semakin rendah nilai kekerasannya.

Pada pengujian suhu 950°C dihasilkan bahwa nilai dari *tensile strength*, *hardness*, dan foto mikro juga menunjukkan hasil yang sesuai antara satu dengan yang lain. Dibandingkan dengan perlakuan suhu 850°C, suhu perlakuan 950°C cukup tinggi dan waktu yang diberikan untuk pendinginan juga relative singkat sehingga terbentuklah struktur *bainite*. Pada perlakuan 950°C memperlihatkan nilai kekerasan yang sangat tinggi akibat kandungan komposisi *pearlite* dan *bainite*.

Jika ditinjau dari hasil penelitian semua plat, maka plat dengan nilai kekerasan yang paling tinggi dimiliki oleh plat nomor 8 (perlakuan suhu 950°C dan lama *quenching* 30 menit) karena memiliki laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan plat lainnya serta besar butir terkecil juga dimiliki oleh plat nomor 8 yang membuktikan bahwa plat ini memiliki nilai

kekerasan dan kekuatan yang paling tinggi pada pengujian ini. Namun untuk nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh plat nomor 5 (perlakuan suhu 850°C dan lama *quenching* 30 menit) yang memiliki persen jumlah *pearlite* yang lebih banyak yaitu sebesar 64.56 % dibandingkan dengan plat nomor 8 yang memiliki jumlah persen *pearlite* sebesar 63.4 %. Pengaruhnya adalah semakin banyaknya *pearlite* juga dapat menambah kekuatan dari material tersebut.

## **BAB V.**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

- Nilai kuat tarik akibat pengaruh suhu 750°C, 850°C, dan 950°C mengalami kenaikan, tetapi pada suhu 950°C mengalami penurunan nilai kuat tariknya namun tidak signifikan, dimana kuat tarik terbesar berada pada suhu 850°C dengan nilai 587.511 untuk *ultimate tensile strenght* dan bersifat lebih keras dibandingkan dengan suhu 950°C. Hal ini ditunjukkan juga dengan persentase *pearlite* yang lebih banyak pada plat dengan treatment suhu 850°C dengan jumlah 64.56% dibandingkan dengan yang bersuhu 950°C yang berjumlah 63.4%.
- Nilai kuat tarik akibat pengaruh lama *quenching* 30, 60, dan 90 menit mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan penurunnya nilai regangan dan meningkatnya nilai kekerasan dari material tersebut.
- Nilai kekerasan akibat pengaruh suhu 750°C, 850 °C, dan 950 °C mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan suhu awal. Kenaikan kekerasan ini berhubungan dengan laju pendinginan serta pengaruh suhu air saat *quenching* yang akhirnya membuat perbedaan dalam pembentukan struktur mikro akhir dari material, semakin tinggi laju penurunan maka semakin tinggi kekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh plat nomor 8 yaitu perlakuan suhu 950°C dengan waktu *quenching* 30 menit dengan nilai 167.07HV.
- Nilai kekerasan akibat pengaruh lama *quenching* 30, 60, dan 90 menit mengalami kenaikan namun pada suhu 850°C mengalami penurunan dan kembali naik pada suhu 950°C meskipun penurunannya tidak signifikan. Hal ini berkaitan dengan besar butir yang dimiliki oleh plat dengan suhu 850°C yang lebih besar serta persentase *pearlite* yang lebih banyak dibandingkan plat dengan suhu 950°C. berkaitan juga dengan nilai kuat tarik yang juga mengalami peningkatan pada plat dengan suhu 850°C.
- Nilai diameter butir akibat pengaruh suhu 750 °C, 850 °C, dan 950 °C menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pendinginan maka besar butir akan semakin kecil. Hal ini ditunjukkan dengan diameter butir plat nomor 8 yaitu sebesar 44.83  $\mu\text{m}$ . Semakin kecil besar butir maka nilai kekerasan akan semakin meningkat dan material akan bersifat semakin ulet serta dengan tingginya laju pendinginan maka terbentuknya *pearlite* akan semakin banyak dan memungkinkan untuk terbentuknya *bainite* apabila pendinginan berjalan lebih cepat.

- Nilai diameter butir akibat pengaruh *quenching* 30, 60, dan 90 menit menunjukkan lamanya treatment *quenching* mempengaruhi ukuran diameter butir. Hal ini disebabkan karena saat pendinginan, medium pendingin mengalami kesetimbangan suhu dengan material sehingga setelah laju pendinginan *extreme* selesai maka pendinginan berjalan lambat dan struktur material kembali membesar akibat suhu dari pada medium pendingin (air laut) tersebut.

## **V.2 Saran**

- Pada penulisan Tugas Akhir ini masih perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait variasi medium pendinginan untuk *quenching* serta variasi suhu yang berbeda untuk mengetahui kekuatan dari material tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 4-Heat Treating*. Ohio: American Society for Metals.
- ASM Handbook Committee. (1991). *ASM Handbook Volume 1-Properties and Selection-Ferrous*. Ohio: American Society for Metals.
- ASTM.A36. (2004). *Standard Specification of Carbon Structural Steel*. New York: American Society for Testing and Materials.
- ASTM.E8. (2004) *Standard Test Methods for Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM.E112. (2004). *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Askeland, D. R. (1984). *The Science and Engineering of Materials 4<sup>th</sup> Edition*. Rolla, Emeritus: University of Missouri.
- Baihaqi, I. (2014). Tesis. *Studi Metode Perbaikan Konstruksi Lambung Kapal Pasca Kebakaran*. Surabaya: Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume V. (2012). *Rules for Materials*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Callister, William. (2000). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Department of Metallurgical Engineering The University of Utah.
- Donald. (2014). Undergraduate Thesis. *Studi Eksperimen Pengaruh Quenching terhadap Kekuatan dan Struktur Mikro pada Sambungan Plat ASTM A36*. Surabaya: Jurusan Teknik kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Limbong, S. (2015). *Analisa Material ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu Dan Proses Quenching Terhadap Nilai Ketangguhannya*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rochiem, R. (2009). Tugas Akhir. *Pengaruh Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 310 S*. Surabaya: Jurusan teknik material dan metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Surdia, T. dan Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

## **LAMPIRAN**

- A. Proses Quenching
- B. Proses Pengujian
- C. Hasil Pengujian
- D. Perhitungan Besar Diameter Butir

## A. Proses *Quenching*

Media pendingin air laut



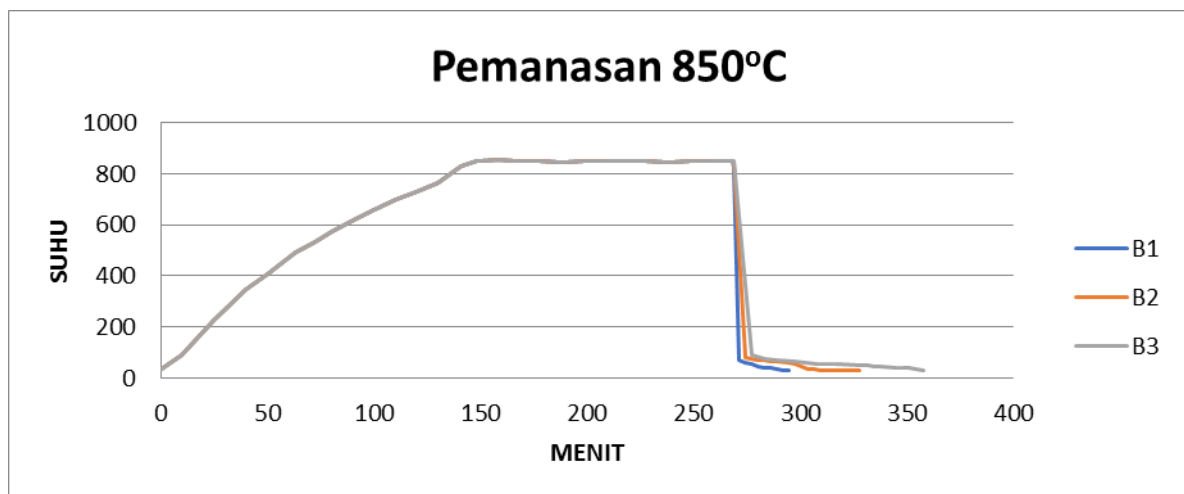
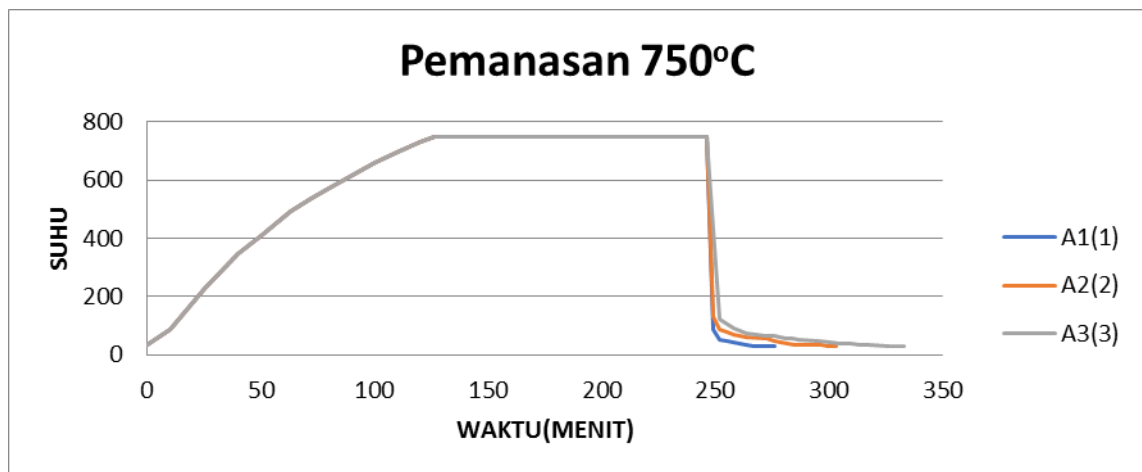
Pengukuran suhu pendinginan cepat



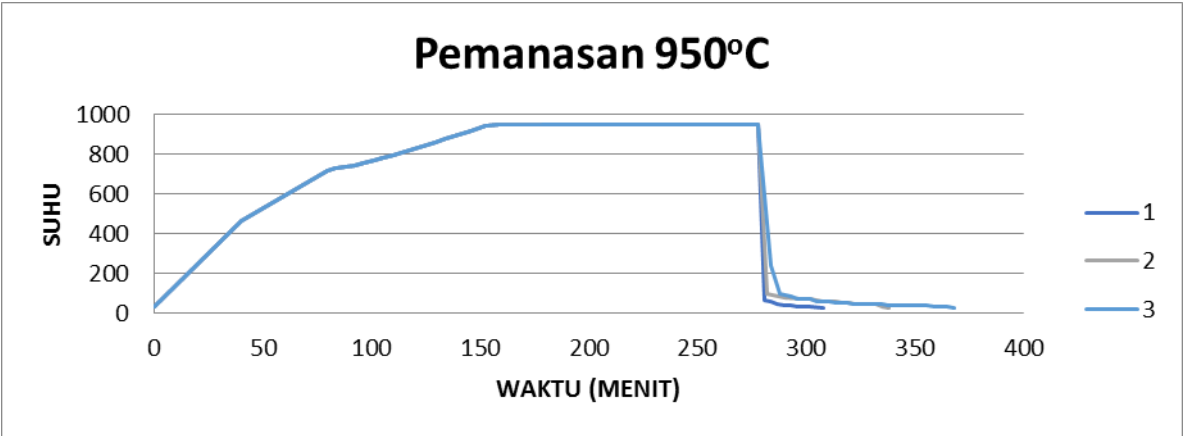
Penentuan massa air laut



Kurva laju pendinginan







## B. Proses Pengujian

Spesimen uji tarik



Spesimen uji kekerasan dan struktur mikro



Kelengkapan pengukuran uji tarik



Mesin mikrovickers



## C. Hasil Pengujian

### Data Hasil Uji Tarik

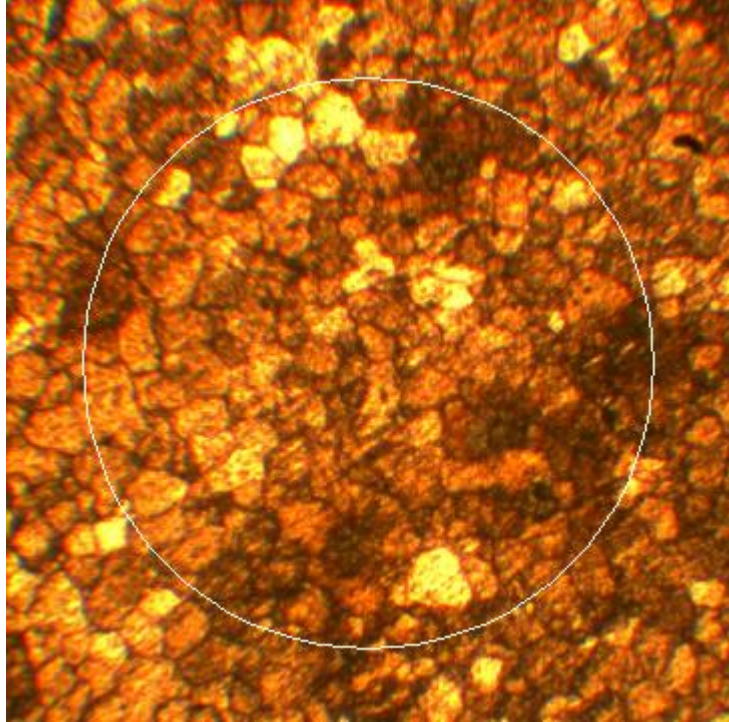
No	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE			TENSILE TEST RESULTS				F. YIELD		F. ULTIMATE		LO	L1	Wd1	Th1	A1	Rata-rata			
		Width	Thick	CSA	Yield Stress	Ultimate Stress	Elongation	Reduct of area										YIELD STRESS	UTS	Elongation	Elo(cm)
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(Mpa)	(%)	(%)	KN	N	KN	N									
1	D1	12.25	9.89	121.1525	288.8921	424.2587	34.7	65.66328	35	35000	51.4	51400	50	67.35	7.26	5.73	41.5998	294.81734	424.4938	34.25333	17.1267
	D2	11.94	9.89	118.0866	304.861	421.7244	31.68	66.09268	36	36000	49.8	49800	50	65.84	7.28	5.5	40.04				
	D3	11.85	9.87	116.9595	290.6989	427.4984	36.38	65.99515	34	34000	50	50000	50	68.19	7.49	5.31	39.7719				
2	A11	12.5	9.71	121.375	387.2297	564.3666	23.02	63.29359	47	47000	68.5	68500	50	61.51	8.22	5.42	44.5524	373.54298	551.6577	23.26	11.63
	A12	12.08	9.74	117.6592	382.4605	555.8426	24.32	63.51327	45	45000	65.4	65400	50	62.16	8.1	5.3	42.93				
	A13	12.3	9.73	119.679	350.9388	534.7638	22.44	63.76532	42	42000	64	64000	50	61.22	7.73	5.61	43.3653				
3	A21	10.91	9.76	106.4816	366.2605	516.5212	27.34	65.62589	39	39000	55	55000	50	63.67	6.07	6.03	36.6021	334.23433	490.395	33.12	16.56
	A22	11.63	9.85	114.5555	296.7994	445.1991	30.22	65.35068	34	34000	51	51000	50	65.11	7.23	5.49	39.6927				
	A23	10.86	9.76	105.9936	339.6431	509.4647	41.8	53.5772	36	36000	54	54000	50	70.9	8.44	5.83	49.2052				
4	A31	11.41	9.81	111.9321	285.8876	444.9126	36.24	66.07818	32	32000	49.8	49800	50	68.12	7.33	5.18	37.9694	302.19941	441.5632	35.6	17.8
	A32	11.34	9.84	111.5856	322.6223	439.1248	34.18	66.40212	36	36000	49	49000	50	67.09	7.38	5.08	37.4904				
	A33	11.75	9.85	115.7375	298.0883	440.6523	36.38	67.05692	34.5	34500	51	51000	50	68.19	7.55	5.05	38.1275				
5	B11	13.35	9.66	128.961	399.3455	566.0626	27.68	74.57115	51.5	51500	73	73000	50	63.84	7.47	4.39	32.7933	411.52854	587.5113	28.71333	14.3567
	B12	12.8	9.63	123.264	413.7461	584.1121	32.14	82.65284	51	51000	72	72000	50	66.07	6.92	3.09	21.3828				
	B13	12.99	9.68	125.7432	421.494	612.3592	26.32	77.05991	53	53000	77	77000	50	63.16	7.14	4.04	28.8456				
6	B21	11.99	9.62	115.3438	416.1472	606.8813	21.7	66.18284	48	48000	70	70000	50	60.85	7.88	4.95	39.006	371.35351	555.0093	25.88	12.94
	B22	11.61	9.47	109.9467	363.8126	536.6237	27.88	76.12516	40	40000	59	59000	50	63.94	6.31	4.16	26.2496				
	B23	12.85	9.55	122.7175	334.1007	521.523	28.06	75.17958	41	41000	64	64000	50	64.03	7.1	4.29	30.459				
7	B31	12.77	9.56	122.0812	339.9377	524.2412	30.34	77.56182	41.5	41500	64	64000	50	65.17	7.06	3.88	27.3928	347.57968	520.9312	32.64	16.32
	B32	13.17	9.57	126.0369	364.9725	515.722	32.24	80.01474	46	46000	65	65000	50	66.12	6.92	3.64	25.1888				
	B33	12.91	9.63	124.3233	337.8289	522.8304	35.34	78.5572	42	42000	65	65000	50	67.67	7.09	3.76	26.6584				
8	C11	12.13	9.59	116.3267	404.0345	558.7711	29.78	75.39387	47	47000	65	65000	50	64.89	6.55	4.37	28.6235	380.50144	574.5664	29.19333	14.5967
	C12	12.26	9.58	117.4508	391.6534	553.4232	28.76	79.03216	46	46000	65	65000	50	64.38	6.43	3.83	24.6269				
	C13	12.35	9.6	118.56	345.8165	611.5047	29.04	77.25	41	41000	72.5	72500	50	64.52	6.76	3.99	26.9724				
9	C21	12.77	9.57	122.2089	441.8663	593.2465	26.12	75.62469	54	54000	72.5	72500	50	63.06	6.96	4.28	29.7888	415.63267	565.088	26.73333	13.3667
	C22	13.39	9.61	128.6779	396.3385	543.994	27.28	77.38213	51	51000	70	70000	50	63.64	7.03	4.14	29.1042				
	C23	13.09	9.72	127.2348	408.6932	558.0234	26.8	73.51424	52	52000	71	71000	50	63.4	7.31	4.61	33.6991				
10	C31	11.61	9.62	111.6882	393.9539	553.3261	29.04	76.59914	44	44000	61.8	61800	50	64.52	6.05	4.32	26.136	406.09709	569.5139	27.71333	13.8567
	C32	11.58	9.67	111.9786	419.7231	571.5378	28.68	72.5394	47	47000	64	64000	50	64.34	6.15	5	30.75				
	C33	12	9.68	116.16	404.6143	583.6777	25.42	75.28202	47	47000	67.8	67800	50	62.71	6.74	4.26	28.7124				

Data pengukuran besar butir

No Plat	material	n1	n2	f	na	g	g1	g2	D1	D2	D
1	d	50	36	2	136	4.133349	4	4.5	89.8	75.5	85.9862
2	a1	90	40	2	220	4.826843	4.5	5	75.5	63.5	67.6558
3	a2	73	40	2	186	4.584783	4.5	5	75.5	63.5	73.4652
4	a3	65	33	2	163	4.394463	4	4.5	89.8	75.5	78.5184
5	b1	129	47	2	305	5.297875	5	5.5	63.5	53.4	57.4829
6	b2	102	47	2	251	5.016917	5	5.5	63.5	53.4	63.1583
7	b3	70	36	2	176	4.505102	4.5	5	75.5	63.5	75.3776
8	c1	208	82	2	498	6.004801	6	6.5	44.9	37.8	44.8318
9	c2	181	75	2	437	5.816398	5.5	6	53.4	44.9	48.0212
10	c3	155	43	2	353	5.508612	5.5	6	53.4	44.9	53.2536

#### D. Perhitungan Diameter Butir Struktur Mikro

Contoh Perhitungan di struktur mikro tanpa pelakuan perbesaran x100



Keterangan:

G = besar butir dirujuk ke tabel ASTM E112 untuk mencari nilai diameter butir

Na = Jumlah butir

N1 = Jumlah butir dalam lingkaran

N2 = jumlah butir yang bersinggungan dengan garis lingkaran

F = faktor pengali pada tabel Jefferies

Contoh Perhitungan

$$N1 = 50$$

$$N2 = 36$$

$$F = 2$$

$$Na = F \cdot \left( N1 + \frac{N2}{2} \right)$$

$$Na = 2 \cdot \left( 50 + \frac{36}{2} \right)$$

$$Na = 136$$

$$G = [3,322 \log (Na) - 2,95]$$

$$G = 4.1333$$



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Stevanus Arie Nugroho Surentu dilahirkan di Jakarta pada tanggal 03 Mei 1994. Pria yang biasa dipanggil Stev atau Arie ini merupakan putra ke dua dari tiga bersaudara pasangan Natalino Monginsidi Surentu dan Elly Yuliningtyas. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Marsudirini Bekasi, SMP Marsudirini Bekasi, SMA Marsudirini Bekasi dan melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012. Prestasi yang pernah diraih penulis selama masa perkuliahan yaitu pernah menjuarai Kontes Kapal Cepat Tak Berawak (ROBOBOAT) Nasional pada tahun 2014 oleh DIKTI bertempat di Universitas Indonesia pada Kategori 2 dengan mendapat juara 3 bersama tim Barunastra-Astramaya yang beranggotakan Stevanus, Cakra, dan Hapis. Penulis juga aktif dalam kegiatan non-akademik yaitu aktif dalam kegiatan pelatihan managerial mahasiswa sebagai peserta Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar (LKMM-TD). Penulis juga aktif dalam Himpunan Mahasiswa sebagai Staff Riset dan Teknologi pada tahun 2013 dan menjadi Wakil dari Biro Hydromodeling pada tahun 2014. Selain kegiatan organisasi, penulis juga terlibat aktif dalam kepengurusan dan kegiatan club Hydromodeling HIMATEKPAL ITS selama masa perkuliahan. Selain itu penulis juga terlibat dalam kepanitiaan Semarak Mahasiswa Perkapalan ke 7, yaitu SAMPAN 7 sebagai sie perlengkapan pada sub-kegiatan NASDARC (National Ship Design and Race Competition) sebagai SC (*Steering Committee*) pada SAMPAN 8 sub-kegiatan NASDARC dan pada SAMPAN 9 menjadi Koordinator SC pada sub-kegiatan NASDARC. Penulis juga aktif dalam mengembangkan dirinya pada kegiatan kerohanian Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) ITS dan berperan dalam kepanitiaan Pembinaan Kerohanian Mahasiswa Baru Kristen divisi pembinaan pada periode 2013-2014, menjadi staff pemuridan di periode 2014-2015 dan menjabat sebagai Ketua Persekutuan Mahasiswa Kristen periode 2015-2016. Penulis berharap Indonesia menjadi salah satu poros teknologi kemaritiman dunia. Tuhan memberkati kita semua.

*-Phillippians 4:13 "I can do everything through him who gives me strength"-*

Contact person: [stevanugroho@hotmail.com](mailto:stevanugroho@hotmail.com)